

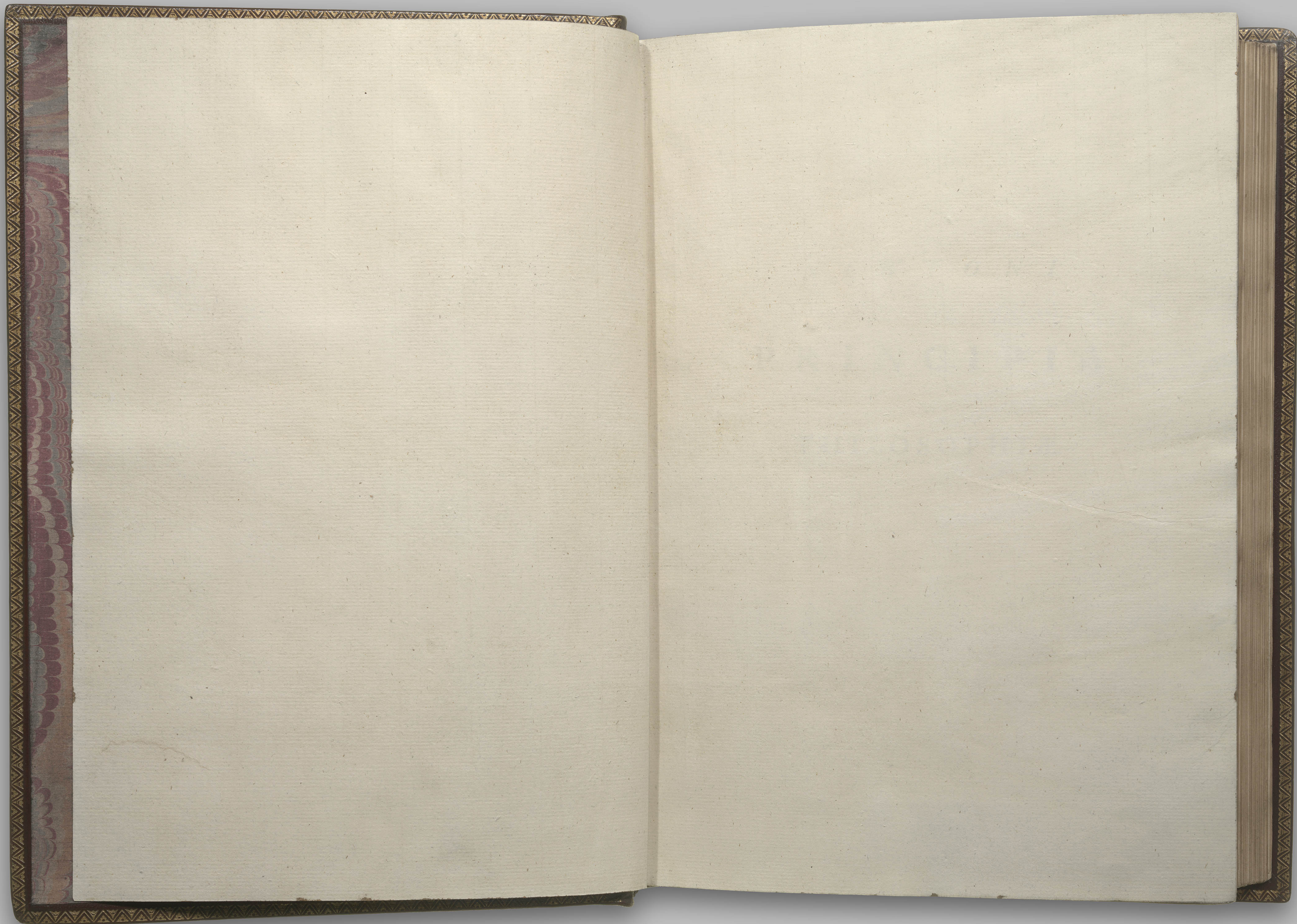


ISAAC NEWTON *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* LONDON, 1726 THE WARNOCK LIBRARY Octavo











N E W T O N I  
P R I N C I P I A  
P H I L O S O P H I Æ.



PHILOSOPHIÆ  
NATURALIS  
PRINCIPIA  
MATHEMATICA.

---

AUCTORE  
ISAACO NEWTONO, EQ. AUR.

---

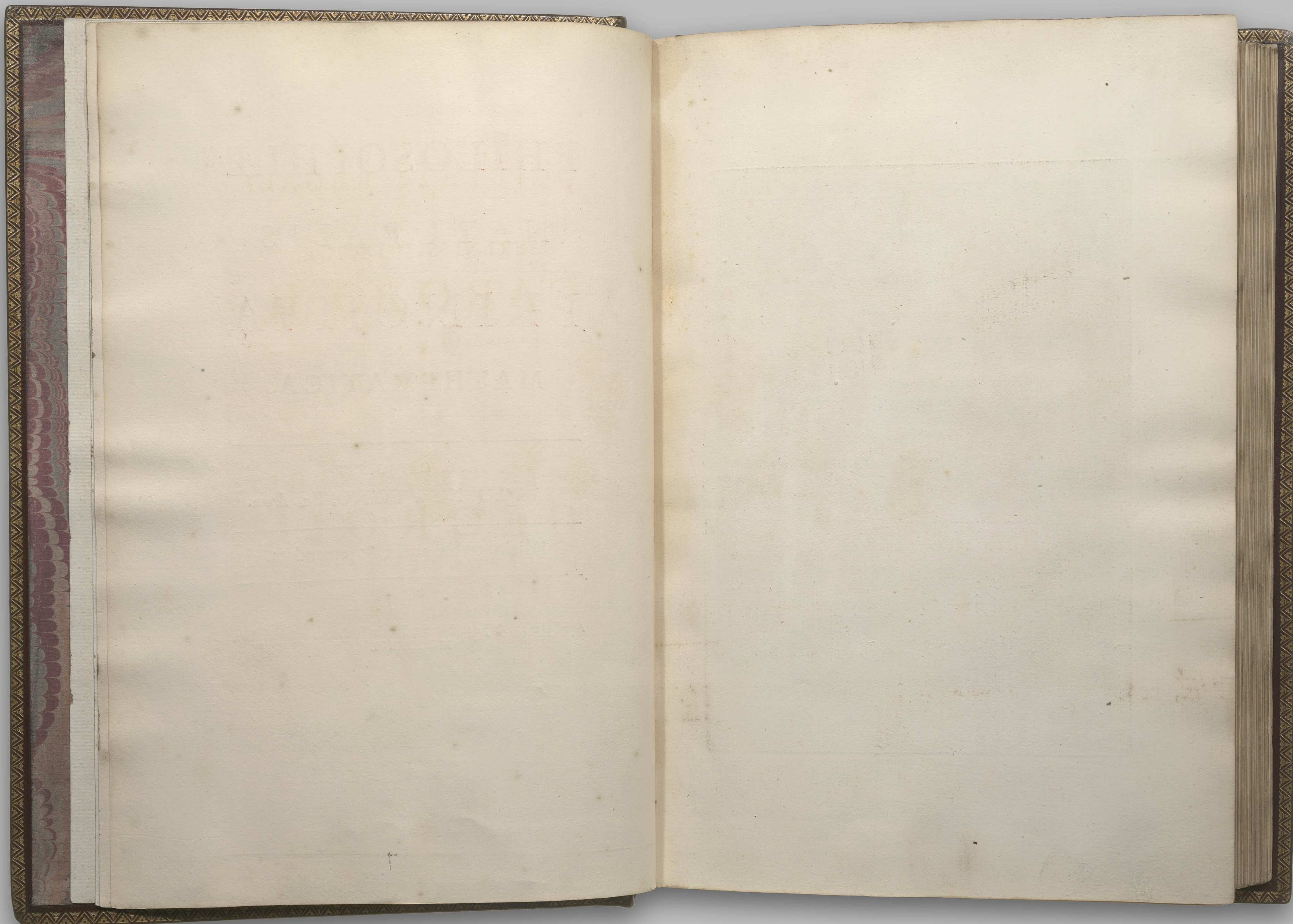
Editio tertia aucta & emendata.

---

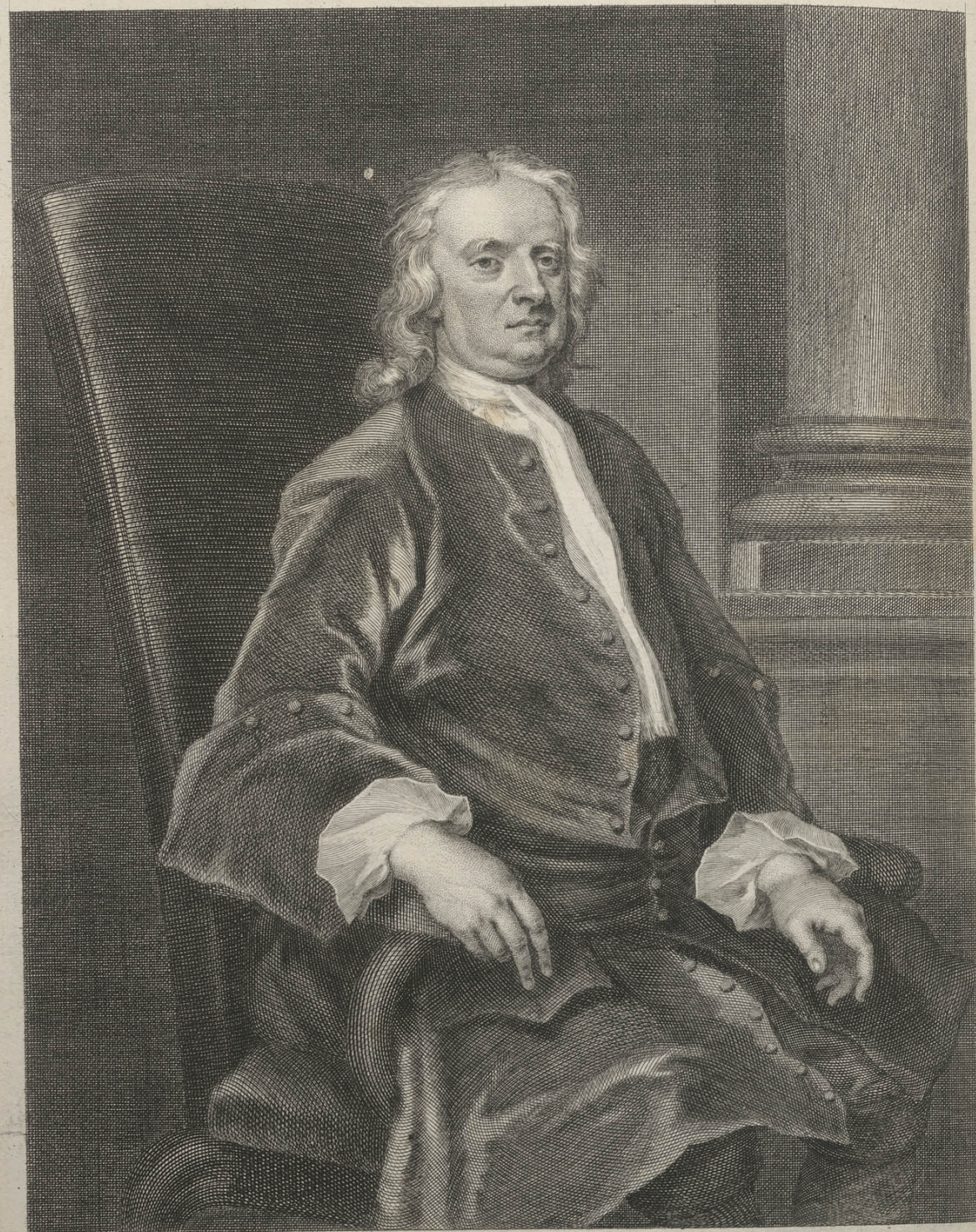
LONDINI:

Apud GUIL. & JOH. INNYS, Regiæ Societatis typographos.  
MDCCXXVI.









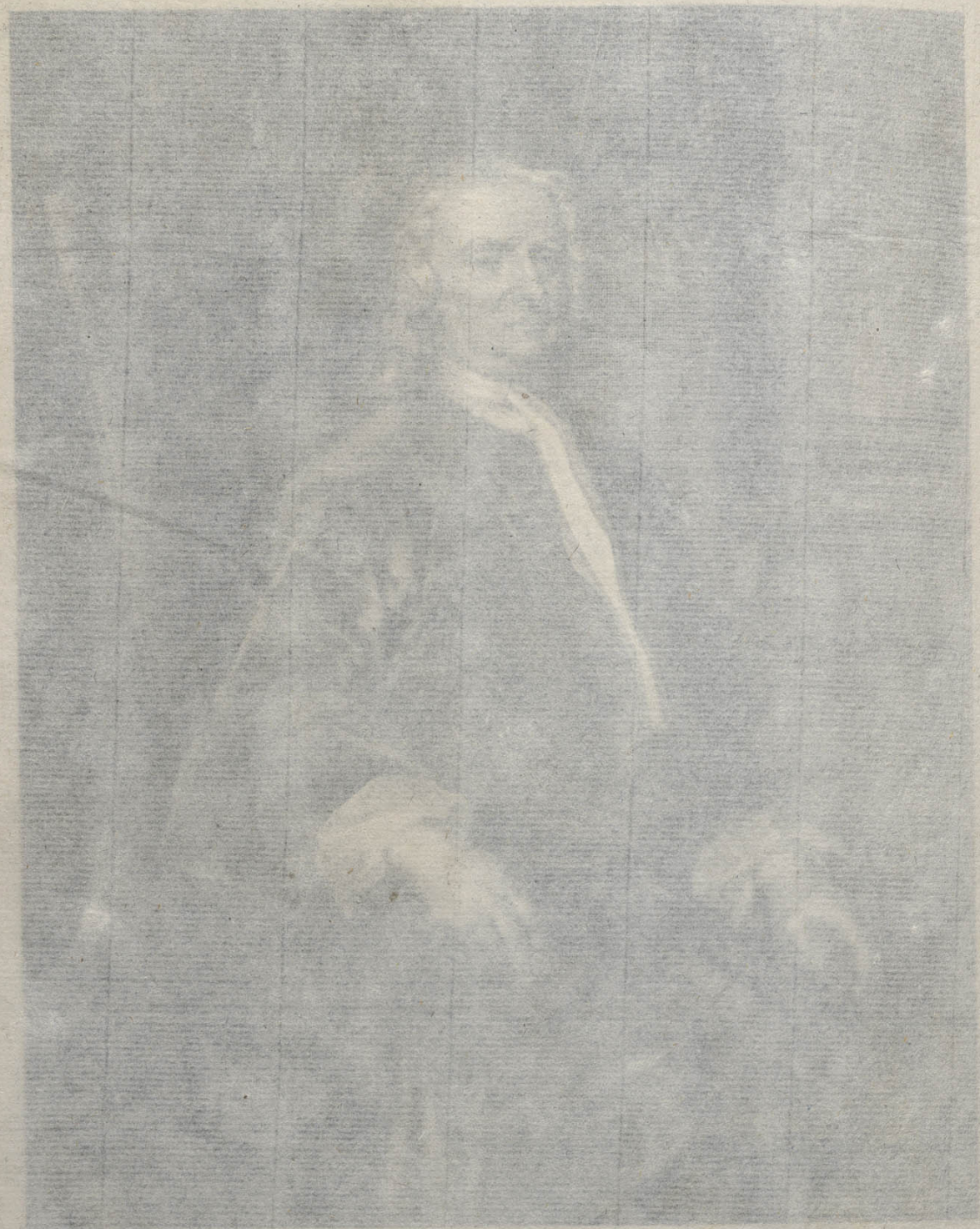
*ISAACUS NEWTON EQ. AUR. ÆT. 83.*

*J. Vanderbank pinxit 1725*

*Geo. Vertue Sculpsit 1726.*

ILLUSTRISSIMÆ  
SOCIETATI REGALI  
A  
SERENISSIMO REGE  
CAROLO II  
AD PHILOSOPHIAM PROMOVENDAM  
FUNDATÆ,  
ET  
AUSPICIIS  
SERENISSIMÆ REGIS  
GEORGII  
FLORENTI  
TRACTATUM HUNC D.D.D.  
IS. NEWTON.





ISAACUS NEWTON EQ. AUR. ET. 83

ILLUSTRISSIMÆ  
SOCIETATI REGALI  
A  
SERENISSIMO REGE  
**CAROLO II**  
AD PHILOSOPHIAM PROMOVENDAM  
FUNDATÆ,  
ET  
AUSPICIIS  
SERENISSIMI REGIS  
**GEORGII**  
FLORENTI

TRACTATUM HUNC D.D.D.

IS. NEWTON.



IN  
VIRI PRÆSTANTISSIMI  
ISAACI NEWTONI  
OPUS HOCCE  
MATHEMATICO-PHYSICUM

seculi gentisque nostræ decus egregium.

**E**N tibi norma poli, & divæ libramina molis,  
Computus en Jovis; & quas, dum primordia rerum  
Pangeret, omniparens leges violare creator  
Noluit, atque operum quæ fundamenta locârit.  
Intima panduntur victi penetralia cæli,  
Nec latet extremos quæ vis circumrotat orbis.  
Sol folio residens ad se jubet omnia pronò  
Tendere descensu, nec recto tramite currus  
Siderios patitur vastum per inane moveri;  
Sed rapit immotis, se centro, singula gyris.  
Jam patet horrificis quæ sit via flexa cometis;  
Jam non miramur barbati phænomena astri.  
Discimus hinc tandem qua causa argentea Phœbe  
Passibus haud æquis graditur; cur subdita nulli  
Hactenus astronomo numerorum fræna recuset:  
Cur remeant nodi, curque auges progrediuntur.  
Discimus & quantis refluxum vaga Cynthia pontum  
Viribus impellit, fessis dum fluctibus ulvam  
Deferit, ac nautis suspectas nudat arenas;  
Alternis vicibus suprema ad littora pulsans.

Quæ



Quæ toties animos veterum torfere foporum,  
 Quæque scholas frustra rauco certamine vexant,  
 Obvia conspicimus, nubem pellente mathesi.  
 Jam dubios nulla caligine prægravat error,  
 Quis superum penetrare domos atque ardua cæli  
 Scandere sublimis genii concessit acumen.

Surgite mortales, terrenas mittite curas;  
 Atque hinc caligenæ vires dignoscite mentis,  
 A pecudum vita longe lateque remotæ.  
 Qui scriptis iussit tabulis compescere cædes,  
 Furta & adulteria, & perjuræ crimina fraudis;  
 Quive vagis populis circumdare mœnibus urbes  
 Auctor erat; Cererisve beavit munere gentes;  
 Vel qui curarum lenimen preffit ab uva;  
 Vel qui Niliaca monstravit arundine pictos  
 Confociare sonos, oculisque exponere voces;  
 Humanam sortem minus extulit: utpote pauca  
 Respiciens miseræ tantum solamina vitæ.  
 Jam vero superis convivæ admittimur, alti  
 Jura poli tractare licet, jamque abdita cæcæ  
 Claustra patent terræ, rerumque immobilis ordo,  
 Et quæ præteriti latuerunt secula mundi.

Talia monstrantem mecum celebrate camænis,  
 Vos ô calicolum gaudentes nectare vesci,  
 NEWTONUM clausi referantem scrinia veri,  
 NEWTONUM Musis charum, cui pectore puro  
 Phœbus adest, totoque incessit numine mentem:  
 Nec fas est propius mortali attingere divos.

EDM. HALLEY

P R Æ-

## AUCTORIS PRÆFATIO

A D

LECTOREM.

CUM veteres mechanicam (uti auctor est Pappus) in rerum naturalium investigatione maximi fecerint; & recentiores, missis formis substantialibus & qualitatibus occultis, phænomena naturæ ad leges mathematicas revocare aggressi sint: Visum est in hoc tractatu mathesin excolere, quatenus ea ad philosophiam spectat. Mechanicam vero duplicem veteres constituerunt: rationalem, quæ per demonstrationes accurate procedit, & practicam. Ad practicam spectant artes omnes manuales, a quibus utique mechanica nomen mutuata est. Cum autem artifices parum accurate operari soleant, fit ut mechanica omnis a geometria ita distinguatur, ut quicquid accuratum sit ad geometriam referatur, quicquid minus accuratum ad mechanicam. Attamen errores non sunt artis, sed artificum. Qui minus accurate operatur, imperfectior est mechanicus, & si quis accuratissime operari posset, hic foret mechanicus omnium perfectissimus. Nam & linearum rectarum & circulorum descriptiones, in quibus geometria fundatur, ad mechanicam pertinent. Has lineas describere geometria non docet, sed postulat. Postulat enim ut tyro easdem accurate describere prius didiceret, quam limen attingat geometriæ; dein, quomodo per has operationes problemata solvantur, docet; rectas & circulos describere problemata sunt, sed non geometrica. Ex mechanica postulatur horum solutio, in geometria docetur solutorum usus. Ac gloriatur geometria quod tam paucis principiis aliunde petitis tam multa præstet. Fundatur igitur geometria in praxi mechanica, & nihil aliud est quam mechanicæ universalis pars illa, quæ artem mensurandi accurate proponit ac demonstrat. Cum autem artes manuales in corporibus movendis præcipue versentur, fit ut geometria ad magnitudinem, mechani-

a

ca



# AUCTORIS

ca ad motum vulgo referatur. Quo sensu mechanica rationalis erit scientia motuum, qui ex viribus quibuscunque resultant, & virium quæ ad motus quoscunque requiruntur, accurate proposita ac demonstrata. Pars hæc mechanica a veteribus in potentiis quinque ad artes manuales spectantibus exulta fuit, qui gravitatem (cum potentia manualis non sit) vix aliter quam in ponderibus per potentias illas movendis considerarunt. Nos autem non artibus sed philosophiæ consulentes, deque potentiis non manualibus sed naturalibus scribes, ea maxime tractamus, quæ ad gravitatem, levitatem, vim elasticam, resistantiam fluidorum & ejusmodi vires seu attractivas seu impulsivas spectant: Et ea propter, hæc nostra tanquam philosophiæ principia mathematica proponimus. Omnis enim philosophiæ difficultas in eo versari videtur, ut a phænomenis motuum investigemus vires naturæ, deinde ab his viribus demonstremus phænomena reliqua. Et huc spectant propositiones generales, quas libro primo & secundo pertractavimus. In libro autem tertio exemplum hujus rei proposuimus per explicationem systematis mundani. Ibi enim, ex phænomenis cælestibus, per propositiones in libris prioribus mathematicè demonstratas, derivantur vires gravitatis, quibus corpora ad solem & planetas singulos tendunt. Deinde ex his viribus per propositiones etiam mathematicas, deducuntur motus planetarum, cometarum, lunæ & maris. Utinam cætera naturæ phænomena ex principiis mechanicis eodem argumentandi genere derivare liceret. Nam multa me movent, ut nonnihil suspicer ea omnia ex viribus quibusdam pendere posse, quibus corporum particule per causas nondum cognitæ vel in se mutuo impelluntur & secundum figuras regulares coherent, vel ab invicem fugantur & recedunt: quibus viribus ignotis, philosophi hætenus naturam frustra tentarunt. Spero autem quod vel huic philosophandi modo, vel veriori alicui, principia hic posita lucem aliquam præbeant.

In his edendis, vir acutissimus & in omni literarum genere eruditissimus Edmundus Halleus operam navavit, nec solum typothetarum sphaemata correxit & schemata incidi curavit, sed etiam auctor fuit, ut horum editionem aggrederer. Quippe cum demonstratam a me figuram orbium cælestium impetraverat, rogare non desistit, ut eandem cum Societate Regali communicarem, quæ deinde hortatibus & benignis suis auspiciis effecit, ut de eadem in lucem emittenda cogitare inciperem. At postquam motuum lunarium inæqualitates aggressus

essem,

# PRÆFATIO.

essem, deinde etiam alia tentare cœpissim, quæ ad leges & mensuras gravitatis & aliarum virium, & figuras a corporibus secundum datas quascunque leges attractis describendas, ad motus corporum plurimum inter se, ad motus corporum in mediis resistantibus, ad vires, densitates & motus mediorum, ad orbis cometarum & similia spectant, editionem in aliud tempus differendam esse putavi, ut cætera rimarer & una in publicum darem. Quæ ad motus lunares spectant (imperfecta cum sint) in corollariis propositionis LXVI simul complexus sum ne singula methodo prolixiore quam pro rei dignitate proponere, & sigillatim demonstrare tenerer, & seriem reliquarum propositionum interrumpere. Nonnulla sero inventa locis minus idoneis inserere malui, quam numerum propositionum & citationes mutare. Ut omnia candide legantur, & defectus in materia tam difficili non tam reprehendantur, quam novis lectorum conatibus investigentur, & benigna suppleantur, enixe rogo.

Dabam Cantabrigiæ, e Collegio  
S. Trinitatis, Maii 8. 1686.

IS. NEWTON.

a 2

AUCTORIS



## AUCTORIS PRÆFATIO

IN

### EDITIONEM SECUNDAM.

**I**N hac secunda Principiorum editione multa sparsim emendantur, & nonnulla adjiciuntur. In libri primi sectione II inventio virium, quibus corpora in orbibus datis revolvi possint, facilius redditur & amplior. In libri secundi sectione VII theoria resistentiæ fluidorum accuratius investigatur, & novis experimentis confirmatur. In libro tertio theoria lunæ & præcessio æquinoctiorum ex principiis suis plenius deducuntur, & theoria cometarum pluribus & accuratius computatis orbium exemplis confirmatur.

Dabam Londini,  
Mar. 28. 1713,

IS. NEWTON.

ED.

## EDITORIS PRÆFATIO

IN

### EDITIONEM SECUNDAM.

**N**EWTONIANÆ philosophiæ novam tibi, lector benevole, diuque desideratam editionem, plurimum nunc emendatam atque auctiorem exhibemus. Quæ potissimum continentur in hoc opere celeberrimo, intelligere potes ex indicibus adjectis: quæ vel addantur vel immutentur, ipsa te fere docebit auctoris præfatio. Reliquum est, ut adjiciantur nonnulla de methodo hujus philosophiæ.

Qui physicam tractandam susceperunt, ad tres fere classes revocari possunt. Extiterunt enim, qui singulis rerum speciebus qualitates específicas & occultas tribuerint; ex quibus deinde corporum singulorum operationes, ignota quadam ratione, pendere voluerunt. In hoc posita est summa doctrinæ scholasticæ, ab *Aristotele* & Peripateticis derivatæ: Affirmant utique singulos effectus ex corporum singularibus naturis oriri; at unde sint illæ naturæ non docent; nihil itaque docent. Cumque toti sint in rerum nominibus, non in ipsis rebus; sermonem quendam philosophicum censendi sunt adinventisse, philosophiam tradidisse non sunt censendi.

Alii ergo melioris diligentiae laudem consequi sperarunt rejecta vocabulorum inutili farragine. Statuerunt itaque materiam universam homogeneam esse, omnem vero formarum varietatem, quæ in corporibus cernitur, ex particularum componentium simplicissimis quibusdam & intellectu facillimis affectionibus oriri. Et recte quidem progressio instituitur a simplicioribus ad magis composita, si particularum primariis illis affectionibus non alios tribuunt modos, quam quos



## EDITORIS

quos ipsa tribuit natura. Verum ubi licentiam sibi assumunt, ponendi quascunque libet ignotas partium figuras & magnitudines, incertosque situs & motus; quin & fingendi fluida quædam occulta, quæ corporum poros liberrime permeent, omnipotente prædita subtilitate, motibusque occultis agitata; jam ad somnia delabuntur, neglecta rerum constitutione vera: quæ sane frustra petenda est ex fallacibus conjecturis, cum vix etiam per certissimas observationes investigari possit. Qui speculationum suarum fundamentum desumunt ab hypothesebus; etiamsi deinde secundum leges mechanicas accuratissime procedant; fabulam quidem elegantem forte & venustam, fabulam tamen concinnare dicendi sunt.

Relinquitur adeo tertium genus, qui philosophiam scilicet experimentalem profitentur. Hi quidem ex simplicissimis quibus possunt principiis rerum omnium causas derivandas esse volunt: nihil autem principii loco assumunt, quod nondum ex phænomenis comprobatum fuerit. Hypotheses non comminiscuntur, neque in physicam recipiunt, nisi ut quæstiones de quarum veritate disputetur. Duplici itaque methodo incedunt, analytica & synthetica. Naturæ vires legesque virium simpliciores ex selectis quibusdam phænomenis per analysin deducunt, ex quibus deinde per synthesein reliquorum constitutionem tradunt. Hæc illa est philosophandi ratio longe optima, quam præ cæteris merito amplectendum censuit celeberrimus auctor noster. Hanc solam utique dignam judicavit, in qua excolenda atque adornanda operam suam collocaret. Hujus igitur illustrissimum dedit exemplum, mundani nempe systematis explicationem e theoria gravitatis felicissime deductam. Gravitatis virtutem universis corporibus inesse, suspicati sunt vel finxerunt alii: primus ille & solus ex apparentiis demonstrare potuit, & speculationibus egregiis firmissimum ponere fundamentum.

Scio equidem nonnullos magni etiam nominis viros, præjudiciis quibusdam plus æquo occupatos, huic novo principio ægre assentiri potuisse, & certis incerta identidem prætulisse. Horum famam vellicare non est animus: tibi potius, benevole lector, illa paucis exponere lubet, ex quibus tute ipse iudicium non iniquum feras.

Igitur ut argumenti sumatur exordium a simplicissimis & proximis; dispiciamus paulisper qualis sit in terrestribus natura gravitatis, ut deinde tutius progrediamur ubi ad corpora cælestia, longissime a se-

dibus

## P R Æ F A T I O.

dibus nostris remota, perventum fuerit. Convenit jam inter omnes philosophos, corpora universa circumterrestria gravitare in terram. Nulla dari corpora vere levia, jamdudum confirmavit experientia multiplex. Quæ dicitur levitas relativa, non est vera levitas, sed apparens solummodo; & oritur a præpollente gravitate corporum contiguorum.

Porro, ut corpora universa gravitent in terram, ita terra vicissim in corpora æqualiter gravitat; gravitatis enim actionem esse mutuam & utrinque æqualem, sic ostenditur. Distinguantur terræ totius moles in binas quascunque partes, vel æquales vel utcunque inæquales: jam si pondera partium non essent in se mutuo æqualia; cederet pondus minus majori, & partes conjunctæ pergerent recta moveri ad infinitum, versus plagam in quam tendit pondus majus: omnino contra experientiam. Itaque dicendum erit, pondera partium in æquilibrio esse constituta: hoc est, gravitatis actionem esse mutuam & utrinque æqualem.

Pondera corporum, æqualiter a centro terræ distantium, sunt ut quantitates materiæ in corporibus. Hoc utique colligitur ex æquali acceleratione corporum omnium, e quiete per ponderum vires cadentium: nam vires quibus inæqualia corpora æqualiter accelerantur, debent esse proportionales quantitibus materiæ movendæ. Jam vero corpora universa cadentia æqualiter accelerari, ex eo patet, quod in vacuo *Boyliano* temporibus æqualibus æqualia spatia cadendo describunt, sublata scilicet aëris resistentia: accuratius autem comprobatur per experimenta pendulorum.

Vires attractivæ corporum, in æqualibus distantibus, sunt ut quantitates materiæ in corporibus. Nam cum corpora in terram & terra vicissim in corpora momentis æqualibus gravitent; terræ pondus in unumquodque corpus, seu vis qua corpus terram attrahit, æquabitur ponderi corporis ejusdem in terram. Hoc autem pondus erat ut quantitas materiæ in corpore: itaque vis qua corpus unumquodque terram attrahit, sive corporis vis absoluta, erit ut eadem quantitas materiæ.

Oritur ergo & componitur vis attractiva corporum integrorum ex viribus attractivis partium: siquidem aucta vel diminuta mole materiæ, ostensum est, proportionaliter augeri vel diminui ejus virtutem. Actio itaque telluris ex conjunctis partium actionibus conflari

flari



# EDITORIS

flari censenda erit; atque adeo corpora omnia terrestria se mutuo trahere oportet viribus absolutis, quæ sint in ratione materiæ trahentis. Hæc est natura gravitatis apud terram: videamus jam qualis sit in cælis.

Corpus omne perseverare in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare; naturæ lex est ab omnibus recepta philosophis. Inde vero sequitur, corpora quæ in curvis moventur, atque adeo de lineis rectis orbitas suas tangentibus jugiter abeunt, vi aliqua perpetuo agente retineri in itinere curvilineo. Planetis igitur in orbibus curvis revolventibus necessario aderit vis aliqua, per cuius actiones repetitas indefinenter a tangentibus deflectantur.

Jam illud concedi æquum est, quod mathematicis rationibus colligitur & certissime demonstratur; corpora nempe omnia, quæ moventur in linea aliqua curva in plano descripta, quæque radio ducto ad punctum vel quiescens vel utcumque motum describunt areas circa punctum illud temporibus proportionales, urgeri a viribus quæ ad idem punctum tendunt. Cum igitur in confesso sit apud astronomos, planetas primarios circum solem, secundarios vero circum suos primarios, areas describere temporibus proportionales; consequens est ut vis illa, qua perpetuo detorquentur a tangentibus rectilineis & in orbitis curvilineis revolvi coguntur, versus corpora dirigatur quæ sita sunt in orbitarum centrīs. Hæc itaque vis non inepte vocari potest, respectu quidem corporis revolventis, centripeta; respectu autem corporis centralis, attractiva; a quacunque demum causa oriri fingatur.

Quin & hæc quoque concedenda sunt, & mathematice demonstrantur: Si corpora plura motu æquabili revolvantur in circulis concentricis, & quadrata temporum periodicorum sint ut cubi distantiarum a centro communi; vires centripetas revolventium fore reciproce ut quadrata distantiarum. Vel, si corpora revolvantur in orbitis quæ sunt circulis finitimæ, & quiescant orbitarum apsidēs; vires centripetas revolventium fore reciproce ut quadrata distantiarum. Obtinere casum alterutrum in planetis universis consentiunt astronomi. Itaque vires centripetæ planetarum omnium sunt reciproce ut quadrata distantiarum ab orbium centrīs. Si quis objiciat planetarum, & lunæ præsertim, apsidēs non penitus quiescere; sed motu quodam

lento

# PREFATIO.

lento ferri in consequentia: responderi potest, etiamsi concedamus hunc motum tardissimum exinde profectum esse quod vis centripetæ proportio aberret aliquantum a duplicata, aberrationem illam per computum mathematicum inveniri posse & plane insensibilem esse. Ipsa enim ratio vis centripetæ lunaris, quæ omnium maxime turbari debet, paululum quidem duplicatam superabit; ad hanc vero sexaginta fere vicibus propius accedet quam ad triplicatam. Sed verior erit responsio, si dicamus hanc apsidum progressionem, non ex aberratione a duplicata proportionē, sed ex alia prorsus diversa causa oriri, quemadmodum egregie demonstratur in hac philosophia. Restat ergo ut vires centripetæ, quibus planetæ primarii tendunt versus solem & secundarii versus primarios suos, sint accurate ut quadrata distantiarum reciproce.

Ex iis quæ hætenus dicta sunt, constat planetas in orbitis suis retineri per vim aliquam in ipsos perpetuo agentem: constat vim illam dirigi semper versus orbitarum centra: constat hujus efficaciam augeri in accessu ad centrum, diminui in recessu ab eodem: & augeri quidem in eadem proportionē qua diminuitur quadratum distantiae, diminui in eadem proportionē qua distantiae quadratum augetur. Videamus jam, comparatione instituta inter planetarum vires centripetas & vim gravitatis, annon ejusdem forte sint generis. Eiusdem vero generis erunt, si deprehendantur hinc & inde leges eadem, eademque affectiones. Primo itaque lunæ, quæ nobis proxima est, vim centripetam expendamus.

Spatia rectilinea, quæ a corporibus e quiete demissis dato tempore sub ipso motus initio describuntur, ubi a viribus quibuscunque urgentur, proportionalia sunt ipsis viribus: hoc utique consequitur ex ratiociniis mathematicis. Erit igitur vis centripeta lunæ in orbita sua revolventis, ad vim gravitatis in superficie terræ, ut spatium, quod tempore quam minimo describeret luna descendendo per vim centripetam versus terram, si circulari omni motu privari fingeretur, ad spatium quod eodem tempore quam minimo describit grave corpus in vicinia terræ, per vim gravitatis suæ cadendo. Horum spatiorum prius æquale est arcus a luna per idem tempus descripti sinui verso, quippe qui lunæ translationem de tangente, factam a vi centripeta, metitur; atque adeo computari potest ex datis tum lunæ

b

tempore



# EDITORIS

tempore periodico, tum distantia ejus a centro terræ. Spatium posterius invenitur per experimenta pendulorum, quemadmodum docuit *Hugenius*. Inito itaque calculo, spatium prius ad spatium posterius, seu vis centripeta lunæ in orbita sua revolventis ad vim gravitatis in superficie terræ, erit ut quadratum semidiametri terræ ad orbitæ semidiametri quadratum. Eandem habet rationem, per ea quæ superius ostenduntur, vis centripeta lunæ in orbita sua revolventis ad vim lunæ centripetam prope terræ superficiem. Vis itaque centripeta prope terræ superficiem æqualis est vi gravitatis. Non ergo diversæ sunt vires, sed una atque eadem: si enim diversæ essent, corpora viribus conjunctis duplo celerius in terram caderent quam ex vi sola gravitatis. Constat igitur vim illam centripetam, qua luna perpetuo de tangente vel trahitur vel impellitur & in orbita retinetur, ipsam esse vim gravitatis terrestris ad lunam usque pertingentem. Et rationi quidem consentaneum est ut ad ingentes distantias illa sese virtus extendat, cum nullam ejus sensibilem imminutionem, vel in altissimis montium cacuminibus, observare licet. Gravitatur itaque luna in terram: quin & actione mutua, terra vicissim in lunam æqualiter gravitatur: id quod abunde quidem confirmatur in hac philosophia, ubi agitur de maris æstu & æquinoctiorum præcessione, ab actione tum lunæ tum solis in terram oriundus. Hinc & illud tandem edocemur, quæ nimirum lege vis gravitatis decreseat in majoribus a tellure distantibus. Nam cum gravitas non diversa sit a vi centripeta lunari, hæc vero sit reciproce proportionalis quadrato distantie; diminuetur & gravitas in eadem ratione.

Progrediamur jam ad planetas reliquos. Quoniam revolutiones primariorum circa solem & secundariorum circa jovem & saturnum sunt phænomena generis ejusdem ac revolutio lunæ circa terram, quoniam porro demonstratum est vires centripetas primariorum dirigunt versus centrum solis, secundariorum versus centra jovis & saturni, quemadmodum lunæ vis centripeta versus terræ centrum dirigitur; adhæc, quoniam omnes illæ vires sunt reciproce ut quadrata distantiarum a centrīs, quemadmodum vis lunæ est ut quadratum distantie a terra: concludendum erit eandem esse naturam universis. Itaque ut luna gravitatur in terram, & terra vicissim in lunam; sic etiam gravitabunt omnes secundarii in primarios suos, & primarii vicissim

in

# PRÆFATIO

in secundarios; sic & omnes primarii in solem, & sol vicissim in primarios.

Igitur sol in planetas universos gravitatur & universi in solem. Nam secundarii dum primarios suos comitantur, revolvuntur interea circum solem una cum primariis. Eodem itaque argumento, utriusque generis planetæ gravitant in solem, & sol in ipsos. Secundarios vero planetas in solem gravitare abunde insuper constat ex inæqualitatibus lunaribus; quarum accuratissimam theoriam, admiranda sagacitate patefactam, in tertio hujus operis libro expositam habemus.

Solis virtutem attractivam quoquoersum propagari ad ingentes usque distantias, & sese diffundere ad singulas circumjecti spatii partes, apertissime colligi potest ex motu cometarum; qui ab immensis intervallis profecti feruntur in viciniam solis, & nonnunquam adeo ad ipsum proxime accedunt ut globum ejus, in periheliis suis versantes, tantum non contingere videantur. Horum theoriam ab astronomis antehac frustra quæsitam, nostro tandem sæculo feliciter inventam & per observationes certissime demonstratam, præstantissimo nostro auctori debemus. Patet igitur cometas in sectionibus conicis umbilicos in centro solis habentibus moveri, & radiis ad solem ductis areas temporibus proportionales describere. Ex hisce vero phænomenis manifestum est & mathematice comprobatur, vires illas, quibus cometæ retinentur in orbitis suis, respicere solem & esse reciproce ut quadrata distantiarum ab ipsius centro. Gravitant itaque cometæ in solem: atque adeo solis vis attractiva non tantum ad corpora planetarum in datis distantibus & in eodem fere plano collocata, sed etiam ad cometas in diversissimis cælorum regionibus & in diversissimis distantibus positos pertingit. Hæc igitur est natura corporum gravitantium, ut vires suas edant ad omnes distantias in omnia corpora gravitantia. Inde vero sequitur, planetas & cometas universos se mutuo trahere, & in se mutuo graves esse: quod etiam confirmatur ex perturbatione jovis & saturni, astronomis non incognita, & ab actionibus horum planetarum in se invicem oriunda; quin & ex motu illo lentissimo apsidum, qui supra memoratus est, quique a causa consimili proficiscitur.

Eo demum pervenimus ut dicendum sit, & terram & solem & corpora omnia cælestia, quæ solem comitantur, se mutuo attrahere. Sin-

b 2

gulorum



# EDITORIS

gulorum ergo particulæ quæque minimæ vires suas attractivas habebunt, pro quantitate materiæ pollentes; quemadmodum supra de terrestribus ostensum est. In diversis autem distantis, erunt & harum vires in duplicata ratione distantiarum reciproce: nam ex particulis hac lege trahentibus componi debere globos eadem lege trahentes, mathematicè demonstratur.

Conclusiones præcedentes huic innituntur Axiomati, quod a nullis non recipitur philosophis; effectuum scilicet ejusdem generis, quorum nempe quæ cognoscuntur proprietates eadem sunt, easdem esse causas & easdem esse proprietates quæ nondum cognoscuntur. Quis enim dubitat, si gravitas sit causa descensus lapidis in *Europa*, quin eadem sit causa descensus in *America*? Si gravitas mutua fuerit inter lapidem & terram in *Europa*; quis negabit mutuam esse in *America*? Si vis attractiva lapidis & terræ componatur, in *Europa*, ex viribus attractivis partium; quis negabit similem esse compositionem in *America*? Si attractio terræ ad omnia corporum genera & ad omnes distantias propagetur in *Europa*; quidni pariter propagari dicamus in *America*? In hac regula fundatur omnis philosophia: quippe qua sublata nihil affirmare possumus de universis. Constitutio rerum singularum innotescit per observationes & experimenta: inde vero non nisi per hanc regulam de rerum universarum natura judicamus.

Jam cum gravia sint omnia corpora, quæ apud terram vel in cælis reperiuntur, de quibus experimenta vel observationes instituere licet; omnino dicendum erit, gravitatem corporibus universis competere. Et quemadmodum nulla concipi debent corpora, quæ non sint extensa, mobilia & impenetrabilia; ita nulla concipi debere, quæ non sint gravia. Corporum extensio, mobilitas, & impenetrabilitas non nisi per experimenta innotescunt: eodem plane modo gravitas innotescit. Corpora omnia de quibus observationes habemus, extensa sunt & mobilia & impenetrabilia: & inde concludimus corpora universa, etiam illa de quibus observationes non habemus, extensa esse & mobilia & impenetrabilia. Ita corpora omnia sunt gravia, de quibus observationes habemus: & inde concludimus corpora universa, etiam illa de quibus observationes non habemus, gravia esse. Si quis dicat corpora stellarum inerrantium non esse gravia, quandoquidem eorum gravitas nondum est observata; eodem argumento dicere licebit

# P R Æ F A T I O.

cebit neque extensa esse, nec mobilia, nec impenetrabilia, cum hæ fixarum affectiones nondum sint observatæ. Quid opus est verbis? inter primarias qualitates corporum universorum vel gravitas habebit locum; vel extensio, mobilitas, & impenetrabilitas non habebunt. Et natura rerum vel recte explicabitur per corporum gravitatem, vel non recte explicabitur per corporum extensionem, mobilitatem, & impenetrabilitatem.

Audio nonnullos hanc improbare conclusionem, & de occultis qualitatibus nescio quid musitare. Gravitatem scilicet occultum esse quid, perpetuo arguari solent; occultas vero causas procul esse ablegandas a philosophia. His autem facile respondetur; occultas esse causas, non illas quidem quarum existentia per observationes clarissime demonstratur, sed has solum quarum occulta est & ficta existentia nondum vero comprobata. Gravitas ergo non erit occulta causa motuum cælestium; siquidem ex phænomenis ostensum est, hanc virtutem revera existere. Hi potius ad occultas confugiunt causas; qui nescio quos vortices, materiæ cujusdam prorsus fictitiæ & sensibus omnino ignotæ, motibus iisdem regendis præficiunt.

Ideone autem gravitas occulta causa dicetur, eoque nomine rejicietur e philosophia, quod causa ipsius gravitatis occulta est & nondum inventa? Qui sic statuunt, videant nequid statuunt absurdi, unde totius tandem philosophiæ fundamenta convellantur. Etenim causæ continuo nexu procedere solent a compositis ad simpliciora: ubi ad causam simplicissimam perveneris, jam non licebit ulterius progredi. Causæ igitur simplicissimæ nulla dari potest mechanica explicatio: si daretur enim, causa nondum esset simplicissima. Has tu proinde causas simplicissimas appellabis occultas, & exulare jubebis? Simul vero exulabunt & ab his proxime pendentes & quæ ab illis porro pendent, usque dum a causis omnibus vacua fuerit & probe purgata philosophia.

Sunt qui gravitatem præter naturam esse dicunt, & miraculum perpetuum vocant. Itaque rejiciendam esse volunt, cum in physica præternaturales causæ locum non habeant. Huic ineptæ prorsus objectioni diluendæ, quæ & ipsa philosophiam subruit universam, vix operæ pretium est immorari. Vel enim gravitatem corporibus omnibus inditam esse negabunt, quod tamen dici non potest: vel eo nomine



## EDITORIS

nomine præter naturam esse affirmabunt, quod ex aliis corporum affectionibus atque adeo ex causis mechanicis originem non habeat. Dantur certe primariæ corporum affectiones; quæ, quoniam sunt primariæ, non pendent ab aliis. Viderint igitur annon & hæ omnes sint pariter præter naturam, eoque pariter rejiciendæ: viderint vero qualis sit deinde futura philosophia.

Nonnulli sunt quibus hæc tota physica cælestis vel ideo minus placet, quod cum *Cartesii* dogmatibus pugnare & vix conciliari posse videatur. His sua licebit opinione frui; ex æquo autem agant oportet: non ergo denegabunt aliis eandem libertatem quam sibi concedi postulant. *Newtonianam* itaque philosophiam, quæ nobis verior habetur, retinere & amplecti licebit, & causas sequi per phænomena comprobatas, potius quam fictas & nondum comprobatas. Ad veram philosophiam pertinet, rerum naturas ex causis vere existentibus derivare: eas vero leges quærere, quibus voluit summus opifex hunc mundi pulcherrimum ordinem stabilire; non eas quibus potuit, si ita visum fuisset. Rationi enim consonum est, ut a pluribus causis, ab invicem nonnihil diversis, idem possit effectus proficisci: hæc autem vera erit causa, ex qua vere atque actu proficitur; reliquæ locum non habent in philosophia vera. In horologiis automatis idem indicis horarii motus vel ab appenso pondere vel ab intus concluso elatere oriri potest. Quod si oblatum horologium revera sit instructum pondere; ridebitur qui finget elaterem, & ex hypothese sic præpropere conficta motum indicis explicare suscipiet: oportuit enim internam machinæ fabricam penitus perscrutari, ut ita motus propositi principium verum exploratum habere posset. Idem vel non absimile feretur iudicium de philosophis illis, qui materia quadam subtilissima cælos esse repletos, hanc autem in vortices indefinenter agi voluerunt. Nam si phænomenis vel accuratissime satisfacere possent ex hypothesebus suis; veram tamen philosophiam tradidisse, & veras causas motuum cælestium invenisse nondum dicendi sunt; nisi vel has revera existere, vel saltem alias non existere demonstraverint. Igitur si ostensum fuerit, universorum corporum attractionem habere verum locum in rerum natura; quinetiam ostensum fuerit, qua ratione motus omnes cælestes abinde solutionem recipiant; yana fuerit & merito deridenda objectio.

## PRÆFATIO

objectio, si quis dixerit eisdem motus per vortices explicari debere, etiam si id fieri posse vel maxime concesserimus. Non autem concedimus: nequeunt enim ullo pacto phænomena per vortices explicari; quod ab auctore nostro abunde quidem & clarissimis rationibus evincitur; ut somnis plus æquo indulgeant oporteat, qui ineptissimo figmento resarciendo, novisque porro commentis ornando infelicem operam addicunt.

Si corpora planetarum & cometarum circa solem deferantur a vorticibus; oportet corpora delata & vorticum partes proxime ambientes eadem velocitate eademque cursus determinatione moveri, & eandem habere densitatem vel eandem vim inertiae pro mole materiae. Constat vero planetas & cometas, dum versantur in iisdem regionibus cælorum, velocitatibus variis variaque cursus determinatione moveri. Necessario itaque sequitur, ut fluidi cælestis partes illæ, quæ sunt ad easdem distantias a sole, revolvantur eodem tempore in plagas diversas cum diversis velocitatibus: etenim alia opus erit directione & velocitate, ut transire possint planetæ; alia, ut transire possint cometæ. Quod cum explicari nequeat; vel fatendum erit, universa corpora cælestia non deferri a materia vorticis; vel dicendum erit, eorundem motus repetendos esse non ab uno eodemque vortice, sed a pluribus qui ab invicem diversi sint, idemque spatium soli circumjectum pervadant.

Si plures vortices in eodem spatio contineri, & sese mutuo penetrare motibusque diversis revolvi ponantur; quoniam hi motus debent esse conformes delatorum corporum motibus, qui sunt summe regulares, & peraguntur in sectionibus conicis nunc valde eccentricis, nunc ad circulorum proxime formam accedentibus; jure quærendum erit, qui fieri possit, ut iidem integri conserventur nec ab actionibus materiae occurrentis per tot sæcula quicquam perturbentur. Sane si motus hi fictitii sunt magis compositi & difficilius explicantur, quam veri illi motus planetarum & cometarum; frustra mihi videntur in philosophiam recipi: omnis enim causa debet esse effectui suo simplicior. Concessa fabularum licentia, affirmaverit aliquis planetas omnes & cometas circumcingi atmosphaeris, adinstar telluris nostræ; quæ quidem hypothesis rationi magis consentanea videbitur quam hypothesis vorticum. Affirmaverit deinde has atmospha-



# EDITORIS

mosphæras, ex natura sua, circa solem moveri & sectiones conicas describere; qui sane motus multo facilius concipi potest, quam con- similis motus vorticum se invicem permeantium. Denique planetas ipsos & cometas circa solem deferri ab atmosphæris suis credendum esse statuat, & ob repertas motuum cælestium causas triumphum agat. Quisquis autem hanc fabulam rejiciendam esse putet, idem & alteram fabulam rejiciet: nam ovum non est ovo similis, quam hypothesis atmosphærarum hypothese vorticum.

Docuit *Galileus*, lapidis projecti & in parabola moti deflexionem a cursu rectilineo oriri a gravitate lapidis in terram, ab occulta sci- licet qualitate. Fieri tamen potest ut alius aliquis, nasi acutioris, philosophus causam aliam comminiscatur. Finget igitur ille materi- am quandam subtilem, quæ nec visu, nec tactu, neque ullo sensu percipitur, versari in regionibus quæ proxime contingunt telluris su- perficiem. Hanc autem materiam, in diversas plagas, variis & ple- rumque contrariis motibus ferri, & lineas parabolicas describere con- tendet. Deinde vero lapidis deflexionem pulchre sic expediet, & vulgi plausum merebitur. Lapis, inquiet, in fluido illo subtili natat & cursui ejus obsequendo, non potest non eandem una semitam de- scribere. Fluidum vero movetur in lineis parabolicis; ergo lapidem in parabola moveri necesse est. Quis nunc non mirabitur acutis- simum hujusce philosophi ingenium, ex causis mechanicis, materia scilicet & motu, phænomena naturæ ad vulgi etiam captum præclare deducendis? Quis vero non subsannabit bonum illum *Galileum*, qui magno molimine mathematico qualitates occultas, e philosophia fe- liciter exclusas, denuo revocare sustinuerit? Sed pudet nugis diutius immorari.

Summa rei huc tandem redit: cometarum ingens est numerus; motus eorum sunt summe regulares, & easdem leges cum planetarum motibus observant. Moventur in orbibus conicis, hi orbis sunt valde admodum eccentrici. Feruntur undique in omnes cælorum partes, & planetarum regiones liberrime pertranseunt, & sæpe contra signo- rum ordinem incedunt. Hæc phænomena certissime confirmantur ex observationibus astronomicis: & per vortices nequeunt explicari. Imo, ne quidem cum vorticibus planetarum consistere possunt. Co- metarum

# PRÆFATIO

metarum motibus omnino locus non erit; nisi materia illa fictitia pe- nitus e cælis amoveatur.

Si enim planetæ circum solem a vorticibus devehuntur; vorticum partes, quæ proxime ambiunt unumquemque planetam, ejusdem den- sitatis erunt ac planeta; uti supra dictum est. Itaque materia illa om- nis quæ contigua est orbis magni perimetro, parem habebit ac tellus densitatem: quæ vero jacet intra orbem magnum atque orbem saturni, vel parem vel majorem habebit. Nam ut constitutio vorticis per- manere possit, debent partes minus densæ centrum occupare, magis densæ longius a centro abire. Cum enim planetarum tempora pe- riodica sint in ratione sesquuplicata distantiarum a sole, oportet partium vorticis periodos eandem rationem servare. Inde vero sequitur, vi- res centrifugas harum partium fore reciproce ut quadrata distantiarum. Quæ igitur majore intervallo distant a centro, nituntur ab eodem re- cedere minore vi: unde si minus densæ fuerint, necesse est ut ce- dant vi majori, qua partes centro propiores ascendere conantur. Ascendent ergo densiores, descendent minus densæ, & locorum fiet invicem permutatio; donec ita fuerit disposita atque ordinata mate- ria fluida totius vorticis, ut conquiescere jam possit in æquilibrio constituta. Si bina fluida, quorum diversa est densitas, in eodem vase continentur; utique futurum est ut fluidum, cujus major est densitas, majore vi gravitatis infimum petat locum: & ratione non absimili omnino dicendum est, densiores vorticis partes majore vi centrifuga petere supremum locum. Tota igitur illa & multo maxima pars vorticis, quæ jacet extra telluris orbem, densitatem habebit atque adeo vim inertię pro mole materiæ, quæ non minor erit quam densitas & vis inertię telluris: inde vero cometis tra- jectis orietur ingens resistentia, & valde admodum sensibilis; ne dicam, quæ motum eorundem penitus sistere atque absorbere posse merito videatur. Constat autem ex motu cometarum prorsus re- gulari, nullam ipsos resistentiam pati quæ vel minimum sentiri potest; atque adeo nequiquam in materiam ullam incurfare, cujus aliqua sit vis resistendi, vel proinde cujus aliqua sit densitas seu vis inertię. Nam resistentia mediorum oritur vel ab inertia materiæ fluidæ, vel a defectu lubricitatis. Quæ oritur a defectu lubricitatis, admodum ex- igua est; & sane vix observari potest in fluidis vulgo notis, nisi valde



## EDITORIS

tenacia fuerint adinstar olei & mellis. Resistentia quæ sentitur in aëre, aqua, hydrargyro, & huiusmodi fluidis non tenacibus fere tota est prioris generis; & minui non potest per ulteriorem quemcunque gradum subtilitatis, manente fluidi densitate vel vi inertiae, cui semper proportionalis est hæc resistentia; quemadmodum clarissime demonstratum est ab auctore nostro in peregrina resistentiarum theoria, quæ paulo nunc accuratius exponitur, hac secunda vice, & per experimenta corporum cadentium plenius confirmatur.

Corpora progrediendo motum suum fluido ambienti paulatim communicant, & communicando amittunt, amittendo autem retardantur. Est itaque retardatio motui communicato proportionalis; motus vero communicatus, ubi datur corporis progredientis velocitas, est ut fluidi densitas; ergo retardatio seu resistentia erit ut eadem fluidi densitas; neque ullo pacto tolli potest, nisi a fluido ad partes corporis posticas recurrente restituatur motus amissus. Hoc autem dici non poterit, nisi impressio fluidi in corpus ad partes posticas æqualis fuerit impressioni corporis in fluidum ad partes anticæ, hoc est, nisi velocitas relativa qua fluidum irruit in corpus a tergo, æqualis fuerit velocitati qua corpus irruit in fluidum, id est, nisi velocitas absoluta fluidi recurrentis duplo maior fuerit quam velocitas absoluta fluidi propulsi; quod fieri nequit. Nullo igitur modo tolli potest fluidorum resistentia, quæ oritur ab eorundem densitate & vi inertiae. Itaque concludendum erit; fluidi cælestis nullam esse vim inertiae, cum nulla sit vis resistendi: nullam esse vim qua motus communicetur, cum nulla sit vis inertiae: nullam esse vim qua mutatio quælibet vel corporibus singulis vel pluribus inducatur, cum nulla sit vis qua motus communicetur; nullam esse omnino efficaciam, cum nulla sit facultas mutationem quamlibet inducendi. Quidni ergo hanc hypothesin, quæ fundamento plane destituitur, quæque naturæ rerum explicandæ ne minimum quidem inservit, ineptissimam vocare liceat & philosopho prorsus indignam. Qui cælos materia fluida repletos esse volunt, hanc vero non inertem esse statuunt; hi verbis tollunt vacuum, reponunt. Nam cum huiusmodi materia fluida ratione nulla secerni possit ab inani spatio; disputatio tota sit de rerum nominibus, non de naturis. Quod si aliqui sint adeo asque dediti materiæ, ut spatium a corporibus vacuum nullo pacto admit-

## PRÆFATIO.

admittendum credere velint; videamus quo tandem oporteat illo pervenire.

Vel enim dicent hanc, quam confingunt, mundi per omnia pleni constitutionem ex voluntate dei profectam esse, propter eum finem, ut operationibus naturæ subsidium præsens haberi posset ab æthere subtilissimo cuncta permeante & implente; quod tamen dici non potest, siquidem jam ostensum est ex cometarum phænomenis, nullam esse huius ætheris efficaciam: vel dicent ex voluntate dei profectam esse, propter finem aliquem ignotum; quod neque dici debet, siquidem diversa mundi constitutio eodem argumento pariter stabiliri posset: vel denique non dicent ex voluntate dei profectam esse, sed ex necessitate quadam naturæ. Tandem igitur delabi oportet in fæces fordidas gregis impurissimi. Hi sunt qui somniant fato universa regi, non providentia; materiam ex necessitate sua semper & ubique extitisse, infinitam esse & æternam. Quibus positis, erit etiam undique uniforme: nam varietas formarum cum necessitate omnino pugnat. Erit etiam immota: nam si necessario moveatur in plagam aliquam determinatam, cum determinata aliqua velocitate; pari necessitate movebitur in plagam diversam cum diversa velocitate; in plagas autem diversas, cum diversis velocitatibus, moveri non potest; oportet igitur immotam esse. Neutiquam profecto potuit oriri mundus, pulcherrima formarum & motuum varietate distinctus, nisi ex liberrima voluntate cuncta providentis & gubernantis dei.

Ex hoc igitur fonte promanarunt illæ omnes quæ dicuntur naturæ leges: in quibus multa sane sapientissimi consilii, nulla necessitatis apparent vestigia. Has proinde non ab incertis conjecturis petere, sed observando atque experiendo addiscere debemus. Qui verè physicæ principia legesque rerum, sola mentis vi & interno rationis lumine fretum, invenire se posse confidit; hunc oportet vel statuere mundum ex necessitate fuisse, legesque propositas ex eadem necessitate sequi; vel si per voluntatem dei constitutus sit ordo naturæ, se tamen, homuncionem misellum, quid optimum factu sit perspectum habere. Sana omnis & vera philosophia fundatur in phænomenis rerum: quæ si nos vel invitos & reluctantes ad huiusmodi principia deducunt, in quibus clarissime cernuntur consilium optimum & dominium summum sapientissimi & potentissimi entis; non erunt hæc ideo non admittenda principia, quod quibusdam forsitan hominibus minus grata sint futura.



## EDITORIS

tura. His vel miracula vel qualitates occultæ dicantur, quæ displicent: verum nomina malitiose indita non sunt ipsis rebus vitio vertenda; nisi illud fateri tandem velint, utique debere philosophiam in atheismo fundari. Horum hominum gratia non erit labefactanda philosophia, siquidem rerum ordo non vult immutari.

Obtinebit igitur apud probos & æquos iudices præstantissima philosophandi ratio, quæ fundatur in experimentis & observationibus. Huic vero, dici vix poterit, quanta lux accedat, quanta dignitas, ab hoc opere præclaro illustrissimi nostri auctoris; cujus eximiam ingenii felicitatem, difficillima quæque problemata enodantis, & ad ea porro pertinentis ad quæ nec spes erat humanam mentem assurgere potuisse, merito admirantur & suspiciunt quicunque paulo profundius in hisce rebus versati sunt. Claustis ergo resecatis, aditum nobis aperuit ad pulcherrima rerum mysteria. Systematis mundani compagem elegantissimam ita tandem patefecit & penitus perspectandam dedit; ut nec ipse, si nunc revivisceret, rex *Alphonsus* vel simplicitatem vel harmoniæ gratiam in ea desideraret. Itaque naturæ majestatem propius jam licet intueri, & dulcissima contemplatione frui, conditorem vero ac dominum universorum impensius colere & venerari, qui fructus est philosophiæ multo uberrimus. Cæcum esse oportet, qui ex optimis & sapientissimis rerum structuris non statim videat fabricatoris omnipotentis infinitam sapientiam & bonitatem: infanum, qui profiteri nolit.

Extabit igitur eximium *NEWTONI* opus adversus atheorum impetus munitissimum præsidium: neque enim alicunde felicius, quam ex hac pharetra, contra impiam catervam tela deprompseris. Hoc sensit pridem, & in pereruditis concionibus anglice latineque editis, primus egregie demonstravit vir in omni literarum genere præclarus idemque bonarum artium fautor eximius *RICHARDUS BENTLEY*, seculi sui & academiæ nostræ magnum ornamentum, collegii nostri *S. Trinitatis* magister dignissimus & integerrimus. Huic ego me pluribus nominibus obstrictum fateri debeo: huic & tuas quæ debentur gratias, lector benevole, non denegabis. Is enim, cum a longo tempore celeberrimi auctoris amicitia intima frueretur, (qua etiam apud posteror censeretur non minoris æstimat, quam propriis scriptis quæ literato orbi in deliciis sunt inclarescere) amici simul famæ & scientiarum

## PRÆFATIO

tiarum incremento consuluit. Itaque cum exemplaria prioris editionis rarissima admodum & immani pretio coëmenda superessent; suavit ille crebris efflagitationibus, & tantum non objurgando perpulit denique virum præstantissimum, nec modestia minus quam eruditione summa insignem, ut novam hanc operis editionem, per omnia elimatam denuo & egregiis insuper accessionibus ditatam, suis sumptibus & auspiciis prodire pateretur: mihi vero, pro jure suo, pensum non ingratum demandavit, ut quam posset emendate id fieri curarem.

*Cantabrigiæ,*  
Maii 12. 1713.

*ROGERUS COTES* collegii *S. Trinitatis* socius,  
astronomiæ & philosophiæ experimentalis  
professor *Plumianus*.

## AUCTORIS



A U C T O R I S  
P R Æ F A T I O  
IN  
EDITIONEM TERTIAM.

**I**N editione hacce tertia, quam Henricus Pemberton M. D. vir harum rerum peritissimus curavit, nonnulla in libro secundo de resistentia mediorum paulo fusius explicantur quam antea, & adduntur experimenta nova de resistentia gravium quæ cadunt in aëre. In libro tertio argumentum quo lunam in orbe suo per gravitatem retineri probatur, paulo fusius exponitur: & novæ adduntur observationes de proportionibus diametrorum Jovis ad invicem a D. Poundio factæ. Adduntur etiam observationes aliquot cometæ illius qui anno 1680 apparuit, a D. Kirk mense Novembri in Germania habitæ, quæ nuper ad manus nostras venerunt, & quarum ope constet quam prope orbem parabolici motibus cometarum respondent. Et orbita cometæ illius, computante Halleio, paulo accuratius determinatur quam antea, idque in ellipsi. Et ostenditur cometam in hac orbita elliptica, per novem sæculorum signa, non minus accurate cursum peregrisse, quam solent planetæ in orbitis ellipticis per astronomiam definitis moveri. Orbis etiam cometæ qui anno 1723 apparuit, a D. Bradleio astronomiæ apud Oxonienses professore computatus adjicitur.

IS. NEWTON

Dabam Londini  
Jan. 12. 1725-6.

INDEX CAPITUM  
TOTIUS OPERIS.

	PAG.
DEFINITIONES.	1
AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.	13
DE MOTU CORPORUM LIBER PRIMUS.	
SECT. I. <b>D</b> E methodo rationum primarum & ultimarum.	28
SECT. II. <b>D</b> E inventione virium centripetarum.	38
SECT. III. <b>D</b> E motu corporum in conicis sectionibus eccentricis.	54
SECT. IV. <b>D</b> E inventione orbium ellipticorum, parabolicorum & hyperbolicorum ex umbilico dato.	65
SECT. V. <b>D</b> E inventione orbium ubi umbilicus neuter datur.	73
SECT. VI. <b>D</b> E inventione motuum in orbibus datis.	104
SECT. VII. <b>D</b> E corporum ascensu & descensu rectilineo.	112
SECT. VIII. <b>D</b> E inventione orbium in quibus corpora viribus quibuscunque centripetis agitata revolvuntur.	123
SECT. IX. <b>D</b> E motu corporum in orbibus mobilibus, deque motu apsidum.	129
SECT. X. <b>D</b> E motu corporum in superficiebus datis, deque funependulorum motu reciproco.	142
SECT. XI. <b>D</b> E motu corporum viribus centripetis se mutuo petentium.	160
SECT. XII. <b>D</b> E corporum sphericorum viribus attractivis.	189
SECT. XIII. <b>D</b> E corporum non sphericorum viribus attractivis.	210
SECT. XIV. <b>D</b> E motu corporum minimorum, quæ viribus centripetis ad singulas magni alicujus corporis partes tendentibus agitantur.	222
	D E



DE MOTU CORPORUM LIBER SECUNDUS.

SECT. I	<b>D</b> E motu corporum quibus resistitur in ratione velocitatis.	230
SECT. II.	De motu corporum quibus resistitur in duplicata ratione velocitatis.	239
SECT. III.	De motu corporum quibus resistitur partim in ratione velocitatis, partim in ejusdem ratione duplicata.	265
SECT. IV.	De corporum circulari motu in mediis resistentibus.	274
SECT. V.	De densitate & compressione fluidorum, deque hydrostatica.	282
SECT. VI.	De motu & resistentia corporum funependulorum.	294
SECT. VII.	De motu fluidorum & resistentia projectilium.	318
SECT. VIII.	De motu per fluida propagato.	357
SECT. IX.	De motu circulari fluidorum.	374

DE MUNDI SYSTEMATE LIBER TERTIUS

<b>R</b> EGULÆ PHILOSOPHANDI	387
PHÆNOMENA	390
PROPOSITIONES	395
SCHOLIUM GENERALE.	526

CORRIGENDA.

IN carmine Halleii vers. 9. leg. Sidereos.

**P**AG. 115. l. 21. leg. xxxiv. P. 124. l. antepenult. leg.  $\sqrt{P} = A^n$ . P. 144. l. 5. a fine leg. descendendo currant. P. 145. l. 15, 16. leg. eundum. P. 151. l. 16. leg. singulis. P. 181. l. 9. leg. LM. P. 246. l. 3. pone comma post — 2 A. P. 250. l. 9. dele inferius comma P. 268 l. 7. dele in P. P. 283. l. 8. leg. Cas. P. 291. l. 3. leg. in progressionem. P. 302. l. 11. leg. Ca. P. 371. l. 10. leg. ad POx A. P. 391. l. 11. leg. perfectioribus. P. 416 l. 2. post 9 pone punctum. P. 427. l. 8. leg. luminarium. Ibid. l. 11. leg. fit. P. 446. l. 18. leg. 3iv. P. 448. l. 13, 17. leg. 9 0827646. P. 469. l. 13. leg. semidiametris. P. 487. l. 7. leg. divitas. P. 488. in figura secunda jungantur S, B recta. P. 498. l. 5. leg.  $\frac{1}{54}$  sine commate. Ibid. l. 7. a fine leg.  $\frac{1}{54}$  BF. P. 500. l. 25. leg. 84021. P. 502. in columna prima tabula leg. d. h. i. P. 503. l. 23, 28. leg. m. P. 510. l. 6. leg. comatas. P. 520. l. penult. in columna loc. observ. leg. 8. P. 523. in secunda columna tabula superioris l. 4. leg. 2. 53. 12. in quarta columna l. 19. leg. 5. 16. 53. in sexta columna l. 19. leg. 5. 16. 50.

PHILO.

Philosophiæ Naturalis  
**PRINCIPIA**  
MATHEMATICA.

DEFINITIONES.

DEFINITIO I.

*Quantitas materiæ est mensura ejusdem orta ex illius densitate et magnitudine conjunctim.*

**A**ER densitate duplicata, in spatio etiam duplicato, fit quadruplus; in triplicato sextuplus. Idem intellige de nive & pulveribus per compressionem vel liquefactionem condensatis. Et par est ratio corporum omnium, quæ per causas quascunque diversimode condensantur. Medii interea, si quod fuerit, interstitia partium libere pervadentis, hic nullam rationem habeo. Hanc autem quantitatem sub nomine corporis vel massæ in sequentibus passim intelligo. Innotescit ea per corporis cujusque pondus: Nam ponderi proportionalem esse reperi per experimenta pendulorum accuratissime instituta, uti posthac docebitur.

DEFINITIO II.

*Quantitas motus est mensura ejusdem orta ex velocitate et quantitate materiæ conjunctim.*

Motus totius est summa motuum in partibus singulis; ideoque in corpore duplo majore, æquali cum velocitate, duplus est, & dupla cum velocitate quadruplus.

B

DEFI-



## DEFINITIO III.

*Materia vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.*

Hæc semper proportionalis est suo corpori, neque differt quicquam ab inertia massæ, nisi in modo concipiendi. Per inertiam materiæ fit, ut corpus omne de statu suo vel quiescendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis insita nomine significantissimo vis Inertiæ dici possit. Exercet vero corpus hanc vim solummodo in mutatione status sui per vim aliam in se impressam facta; estque exercitium illud sub diverso respectu & resistentia & impetus: Resistentia, quatenus corpus ad conservandum statum suum reluctatur vi impressæ; impetus, quatenus corpus idem, vi resistentis obstaculi difficulter cedendo, conatur statum obstaculi illius mutare. Vulgus resistentiam quiescentibus & impetum moventibus tribuit: sed motus & quies, uti vulgo concipiuntur, respectu solo distinguuntur ab invicem; neque semper vere quiescunt quæ vulgo tanquam quiescentia spectantur.

## DEFINITIO IV.

*Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum ejus statum vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.*

Consistit hæc vis in actione sola, neque post actionem permanet in corpore. Perseverat enim corpus in statu omni novo per solam vim inertiae. Est autem vis impressa diversarum originum, ut ex ictu, ex pressione, ex vi centripeta.

Vis

## DEFINITIO V.

*Vis centripeta est, qua corpora versus punctum aliquod, tanquam ad centrum, undique trahuntur, impelluntur, vel utcunque tendunt.*

Hujus generis est gravitas, qua corpora tendunt ad centrum terræ; vis magnetica, qua ferrum petit magnetem; & vis illa, quæcunque sit, qua planetæ perpetuo retrahuntur a motibus rectilineis, & in lineis curvis revolvi coguntur. Lapis, in funda circumactus, a circumagente manu abire conatur; & conatu suo fundam distendit, eoque fortius quo celerius revolvitur; & quamprimum dimittitur, avolat. Vim conatui illi contrariam, qua funda lapidem in manum perpetuo retrahit & in orbe retinet, quoniam in manum ceu orbis centrum dirigitur, centripetam appello. Et par est ratio corporum omnium, quæ in gyrum aguntur. Conantur ea omnia a centrīs orbium recedere; & nisi adsit vis aliqua conatui illi contraria, qua cohibeantur & in orbibus retineantur, quamque ideo centripetam appello, abibunt in rectis lineis uniformi cum motu. Projectile, si vi gravitatis destitueretur, non defleceretur in terram, sed in linea recta abiret in cœlos; idque uniformi cum motu, si modo aëris resistentia tolleretur. Per gravitatem suam retrahitur a cursu rectilineo & in terram perpetuo flectitur, idque magis vel minus pro gravitate sua & velocitate motus. Quo minor fuerit ejus gravitas pro quantitate materiæ, vel major velocitas quacum projicitur, eo minus deviat a cursu rectilineo & longius perget. Si globus plumbeus, data cum velocitate secundum lineam horizontalem a montis alicujus vertice vi pulveris tormentarii projectus, pergeret in linea curva ad distantiam duorum milliariū, priusquam in terram decideret: hic dupla cum velocitate quasi duplo longius pergeret, & decupla cum velocitate quasi decuplo longius: si modo aëris resistentia tolleretur. Et augendo velocitatem augeri posset pro lubitu distantia in quam projiceretur, & minui curvatura lineæ quam describeret, ita ut tandem caderet ad distantiam graduum decem vel triginta vel nonaginta; vel etiam ut terram totam circumiret vel de-

B 2

nique



DEFINITIO-  
NES.

nique ut in coelos abiret, & motu abeundi pergeret in infinitum. Ea eadem ratione, qua projectile vi gravitatis in orbem flecti posset & terram totam circuire, potest & luna vel vi gravitatis, si modo gravis sit, vel alia quacunque vi, qua in terram urgeatur, retrahi semper a cursu rectilineo terram versus, & in orbem suum flecti: & sine tali vi luna in orbe suo retineri non potest. Hæc vis, si justo minor esset, non satis flecteret lunam de cursu rectilineo: si justo major, plus satis flecteret, ac de orbe terram versus deduceret. Requiritur quippe, ut sit justæ magnitudinis: & Mathematicorum est invenire vim, qua corpus in dato quovis orbe data cum velocitate accurate retineri possit; & vicissim invenire viam curvilineam, in quam corpus e dato quovis loco data cum velocitate egressum a data vi flectatur. Est autem vis hujus centripetæ quantitas trium generum, absoluta, acceleratrix, & motrix.

## DEFINITIO VI.

*Vis centripetæ quantitas absoluta est mensura ejusdem major vel minor pro efficacia causæ eam propagantis a centro per regiones in circuitu.*

Ut vis magnetica pro mole magnetis vel intensione virtutis major in uno magnete, minor in alio.

## DEFINITIO VII.

*Vis centripetæ quantitas acceleratrix est ipsius mensura velocitatis proportionalis, quam dato tempore generat.*

Uti virtus magnetis ejusdem major in minori distantia, minor in majori: vel vis gravitans major in vallibus, minor in cacuminibus altorum montium, atque adhuc minor (ut posthac patebit) in majoribus distantis a globo terræ; in æqualibus autem distantis eadem undique, propterea quod corpora omnia cadentia (gravia an levia, magna an parva) sublata aëris resistentia, æqualiter accelerat.

DEFINI-

DEFINITIO-  
NES.

## DEFINITIO VIII.

*Vis centripetæ quantitas motrix est ipsius mensura proportionalis motui, quem dato tempore generat.*

Uti pondus majus in majore corpore, minus in minore; & in corpore eodem majus prope terram, minus in coelis. Hæc quantitas est corporis totius centripetentia seu propensio in centrum, & (ut ita dicam) pondus; & innotescit semper per vim ipsi contrariam & æqualem, qua descensus corporis impediri potest.

Hæc virium quantitates brevitatis gratia nominare licet vires motrices, acceleratrices, & absolutas; & distinctionis gratia referre ad corpora centrum petentia, ad corporum loca, & ad centrum virium: nimirum vim motricem ad corpus, tanquam conatum totius in centrum ex conatibus omnium partium compositum; & vim acceleratricem ad locum corporis, tanquam efficaciam quandam, de centro per loca singula in circuitu diffusam, ad movenda corpora quæ in ipsis sunt; vim autem absolutam ad centrum, tanquam causam aliquam præditam, sine qua vires motrices non propagantur per regiones in circuitu; siue causa illa sit corpus aliquod centrale (quale est magnes in centro vis magneticæ, vel terra in centro vis gravitantis) siue alia aliqua quæ non apparet. Mathematicus duntaxat est hic conceptus: Nam virium causas & sedes physicas jam non expendo.

Est igitur vis acceleratrix ad vim motricem ut celeritas ad motum. Oritur enim quantitas motus ex celeritate & ex quantitate materiæ, & vis motrix ex vi acceleratrice & ex quantitate ejusdem materiæ conjunctim. Nam summa actionum vis acceleratricis in singulas corporis particulas est vis motrix totius. Unde juxta superficiem terræ, ubi gravitas acceleratrix seu vis gravitans in corporibus universis eadem est, gravitas motrix seu pondus est ut corpus: at si in regiones ascendatur ubi gravitas acceleratrix fit minor, pondus pariter minuetur, eritque semper ut corpus & gravitas acceleratrix conjunctim. Sic in regionibus ubi gravitas acceleratrix duplo minor est, pondus corporis duplo vel triplo minoris erit quadruplo vel sextuplo minus.

Porro



DEFINITI-  
ONES.

Porro attractiones & impulsus eodem sensu acceleratrices & motrices nomino. Voces autem attractionis, impulsus, vel propensionis cujuscunque in centrum, indifferenter & pro se mutuo promiscue usurpo; has vires non physice sed mathematice tantum considerando. Unde caveat lector, ne per hujusmodi voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve aut rationem physicam alibi definire, vel centris (quæ sunt puncta mathematica) vires vere & physice tribuere; si forte aut centra trahere, aut vires centrorum esse dixerō.

*Scholium.*

Haftenus voces minus notas, quo sensu in sequentibus accipiendæ sint, explicare visum est. Tempus, spatium, locus & motus, sunt omnibus notissima. Notandum tamen, quod vulgus quantitates hæc non aliter quam ex relatione ad sensibilia concipiat. Et inde oriuntur præjudicia quædam, quibus tollendis convenit easdem in absolutas & relativas, veras & apparentes, mathematicas & vulgares distingui.

I. Tempus absolutum, verum, & mathematicum, in se & natura sua sine relatione ad externum quodvis, æquabiliter fluit, alioque nomine dicitur duratio: Relativum, apparens, & vulgare est sensibilis & externa quævis durationis per motum mensura (seu accurata seu inæquabilis) qua vulgus vice veri temporis utitur; ut hora, dies, mensis, annus.

II. Spatium absolutum, natura sua sine relatione ad externum quodvis, semper manet simile & immobile: Relativum est spatii hujus mensura seu dimensio quælibet mobilis, quæ a sensibus nostris per situm suum ad corpora definitur, & a vulgo pro spatio immobili usurpatur: uti dimensio spatii subterranei, aërii vel coelestis definita per situm suum ad terram. Idem sunt spatium absolutum & relativum, specie & magnitudine; sed non permanent idem semper numero. Nam si terra, verbi gratia, moveatur, spatium aëris nostri, quod relative & respectu terræ semper manet idem, nunc erit una pars spatii absoluti in quam aër transit, nunc alia pars ejus; & sic absolute mutabitur perpetuo.

## III. Locus

DEFINITI-  
ONES.

III. Locus est pars spatii quam corpus occupat, estque pro ratione spatii vel absolutus vel relativus. Pars, inquam, spatii; non situs corporis, vel superficies ambiens. Nam solidorum æqualium æquales semper sunt loci; Superficies autem ob dissimilitudinem figurarum ut plurimum inæquales sunt; Situs vero proprie loquendo quantitatem non habent, neque tam sunt loca quam affectiones locorum. Motus totius idem est cum summa motuum partium, hoc est, translatio totius de suo loco eadem est cum summa translationum partium de locis suis; ideoque locus totius idem est cum summa locorum partium, & propterea internus & in corpore toto.

IV. Motus absolutus est translatio corporis de loco absoluto in locum absolutum, relativus de relativo in relativum. Sic in navi quæ velis passis fertur, relativus corporis locus est navigii regio illa in qua corpus versatur, seu cavitatis totius pars illa quam corpus implet, quæque adeo movetur una cum navi: & quies relativa est permansio corporis in eadem illa navis regione vel parte cavitatis. At quies vera est permansio corporis in eadem parte spatii illius immoti in qua navi ipsa una cum cavitare sua & contentis universis movetur. Unde si terra vere quiescit, corpus quod relative quiescit in navi, movebitur vere & absolute ea cum velocitate qua navi movetur in terra. Sin terra etiam movetur; orietur verus & absolutus corporis motus, partim ex terræ motu vero in spatio immoto, partim ex navis motu relativo in terra: & si corpus etiam movetur relative in navi; orietur verus ejus motus, partim ex vero motu terræ in spatio immoto, partim ex relativis motibus tum navis in terra tum corporis in navi; & ex his motibus relativis orietur corporis motus relativus in terra. Ut si terræ pars illa, ubi navi versatur, moveatur vere in orientem cum velocitate partium 1000; & velis ventoque feratur navi in occidentem cum velocitate partium decem; nauta autem ambulet in navi orientem versus cum velocitatis parte una: movebitur nauta vere & absolute in spatio immoto cum velocitatis partibus 1001 in orientem, & relative in terra occidentem versus cum velocitatis partibus novem.

Tempus absolutum a relativo distinguitur in Astronomia per æquationem temporis vulgi. Inæquales enim sunt dies naturales, qui vulgo tanquam æquales pro mensura temporis habentur. Hanc inæqua-



DEFINITI  
ONES.

inæqualitatem corrigunt Astronomi, ut ex veriore tempore mensurent motus cœlestes. Possibile est, ut nullus sit motus æquabilis, quo tempus accurate mensuretur. Accelerari & retardari possunt motus omnes, sed fluxus temporis absoluti mutari nequit. Eadem est duratio seu perseverantia existentiae rerum, sive motus sint cœlestes, sive tardi, sive nulli: proinde hæc a mensuris suis sensibilibus merito distinguitur, & ex iisdem colligitur per æquationem astronomica. Hujus autem æquationis in determinandis phaenomenis necessitas, tum per experimentum horologii oscillatorii, tum etiam per eclipses satellitum Jovis evincitur.

Ut ordo partium temporis est immutabilis, sic etiam ordo partium spatii. Moveantur hæc de locis suis, & movebuntur (ut ita dicam) de seipsis. Nam tempora & spatia sunt sui ipsorum & rerum omnium quasi loca. In tempore quoad ordinem successione, in spatio quoad ordinem situs, locantur universa. De illorum essentia est ut sint loca: & loca primaria moveri absurdum est. Hæc sunt igitur absoluta loca; & solæ translationes de his locis sunt absoluti motus.

Verum quoniam hæc spatii partes videri nequeunt, & ab invicem per sensus nostros distingui; earum vice adhibemus mensuras sensibiles. Ex positionibus enim & distantis rerum a corpore aliquo, quod spectamus ut immobile, definimus loca universa: deinde etiam & omnes motus æstimamus cum respectu ad prædicta loca, quatenus corpora ab iisdem transferri concipimus. Sic vice locorum & motuum absolutorum relativis utimur; nec incommode in rebus humanis: in philosophicis autem abstrahendum est a sensibus. Fieri etenim potest, ut nullum revera quiescat corpus, ad quod loca motusque referantur.

Distinguuntur autem quies & motus absoluti & relativi ab invicem per proprietates suas & causas & effectus. Quietis proprietas est, quod corpora vere quiescentia quiescunt inter se. Ideoque cum possibile sit, ut corpus aliquod in regionibus fixarum, aut longe ultra, quiescat absolute; sciri autem non possit ex situ corporum ad invicem in regionibus nostris, horumne aliquod ad longinquum illud datam positionem servet necne; quies vera ex horum situ inter se definiri nequit.

Motus

DEFINITI  
ONES.

Motus proprietas est, quod partes, quæ datas servant positiones ad tota, participant motus eorundem totorum. Nam gyrantium partes omnes conantur recedere ab axe motus, & progredientium impetus oritur ex conjuncto impetu partium singularum. Motus igitur corporibus ambientibus, moventur quæ in ambientibus relative quiescunt. Et propterea motus verus & absolutus definiri nequit per translationem e vicinia corporum, quæ tanquam quiescentia spectantur. Debent enim corpora externa non solum tanquam quiescentia spectari, sed etiam vere quiescere. Alioquin inclusa omnia, præter translationem e vicinia ambientium, participabunt etiam ambientium motus veros; & sublata illa translatione non vere quiescent, sed tanquam quiescentia solummodo spectabuntur. Sunt enim ambientia ad inclusa, ut totius pars exterior ad partem internam, vel ut cortex ad nucleum. Moto autem cortice, nucleus etiam, sine translatione de vicinia corticis, ceu pars totius, movetur.

Præcedenti proprietati affinis est, quod moto loco movetur una locatum: ideoque corpus, quod de loco moto movetur, participat etiam loci sui motum. Motus igitur omnes, qui de locis motis fiunt, sunt partes solummodo motuum integrorum & absolutorum: & motus omnis integer componitur ex motu corporis de loco suo primo, & motu loci hujus de loco suo, & sic deinceps; usque dum perveniatur ad locum immotum, ut in exemplo nautæ supra memorato. Unde motus integri & absoluti non nisi per loca immota definiri possunt: & propterea hos ad loca immota, relativos ad mobilia supra retuli. Loca autem immota non sunt, nisi quæ omnia ab infinito in infinitum datas servant positiones ad invicem; atque adeo semper manent immota, spatiumque constituunt quod immobile appello.

Causæ, quibus motus veri & relativi distinguuntur ab invicem, sunt vires in corpora impressæ ad motum generandum. Motus verus nec generatur nec mutatur, nisi per vires in ipsum corpus motum impressas: at motus relativus generari & mutari potest sine viribus impressis in hoc corpus. Sufficit enim ut imprimantur in alia solum corpora ad quæ fit relatio, ut iis cedentibus mutetur relatio illa, in qua hujus quies vel motus relativus consistit. Rursum motus verus a viribus in corpus motum impressis semper muta-

C

tur;



DEFINITI-  
ONES.

tur; at motus relativus ab his viribus non mutatur necessario. Nam si eadem vires in alia etiam corpora, ad quæ fit relatio, sic imprimantur, ut situs relativus conservetur, conservabitur relatio in qua motus relativus consistit. Mutari igitur potest motus omnis relativus, ubi verus conservatur, & conservari ubi verus mutatur; & propterea motus verus in ejusmodi relationibus minime consistit.

Effectus, quibus motus absoluti & relativi distinguuntur ab invicem, sunt vires recedendi ab axe motus circularis. Nam in motu circulari nude relativo hæ vires nullæ sunt, in vero autem & absoluto majores vel minores pro quantitate motus. Si pendeat stitula a filo prælongo, agaturque perpetuo in orbem, donec filum a contorsione admodum rigescat, dein impleatur aqua, & una cum aqua quiescat; tum vi aliqua subitanea agatur motu contrario in orbem, & filo se relaxante, diutius perseveret in hoc motu; superficies aquæ sub initio plana erit, quemadmodum ante motum vasis: At postquam vas, vi in aquam paulatim impressa, effecit ut hæc quoque sensibilibiter revolvi incipiat; recedet ipsa paulatim a medio, ascendetque ad latera vasis, figuram concavam induens, (ut ipse expertus sum) & incitatioe semper motu ascendet magis & magis, donec revolutiones in æqualibus cum vase temporibus peragendo, quiescat in eodem relative. Indicat hic ascensus conatum recedendi ab axe motus, & per talem conatum innotescit & mensuratur motus aquæ circularis verus & absolutus, motuique relativo hic omnino contrarius. Initio, ubi maximus erat aquæ motus relativus in vase, motus ille nullum excitabat conatum recedendi ab axe: aqua non petebat circumferentiam ascendendo ad latera vasis, sed plana manebat, & propterea illius verus motus circularis nondum inceperat. Postea vero, ubi aquæ motus relativus decrevit, ascensus ejus ad latera vasis indicabat conatum recedendi ab axe; atque hic conatus monstrabat motum illius circulare verum perpetuo crescentem, ac tandem maximum factum ubi aqua quiescebat in vase relative. Quare conatus iste non pendet a translatione aquæ respectu corporum ambientium, & propterea motus circularis verus per tales translationes definiri nequit. Unicus est corporis cujusque revolventis motus vere circularis, conatui unico tanquam proprio & adæquato effectui respondens: motus autem relativi pro variis relationibus ad externa innumeri sunt; & relationum

instar,

DEFINITI-  
ONES.

instar, effectibus veris omnino destituuntur, nisi quatenus verum illud & unicum motum participant. Unde & in systemate eorum, qui cœlos nostros infra cœlos fixarum in orbem revolvi volunt, & planetas secum deferre; singulæ cœlorum partes, & planetæ qui relative quidem in cœlis suis proximis quiescunt, moventur vere. Mutant enim positiones suas ad invicem (secus quam fit in vere quiescentibus) unaque cum cœlis delati participant eorum motus, & ut partes revolventium totorum, ab eorum axibus recedere conantur.

Quantitates relativæ non sunt igitur eæ ipsæ quantitates, quarum nomina præ se ferunt, sed sunt earum mensuræ illæ sensibiles (veræ an errantes) quibus vulgus loco quantitatum mensurarum utitur. At si ex usu definiendæ sunt verborum significationes; per nomina illa temporis, spatii, loci & motus proprie intelligendæ erunt hæ mensuræ sensibiles; & sermo erit insolens & pure mathematicus, si quantitates mensuræ hic intelligantur. Proinde vim inferunt sacris literis, qui voces hæc de quantitibus mensuratis ibi interpretantur. Neque minus contaminant mathesin & philosophiam, qui quantitates veras cum ipsarum relationibus & vulgaribus mensuris confundunt.

Motus quidem veros corporum singulorum cognoscere, & ab apparentibus actu discriminare, difficillimum est; propterea quod partes spatii illius immobilis, in quo corpora vere moventur, non incurrunt in sensus. Causa tamen non est prorsus desperata. Nam argumenta desumi possunt, partim ex motibus apparentibus qui sunt motuum verorum differentia, partim ex viribus quæ sunt motuum verorum causæ & effectus. Ut si globi duo, ad datam ab invicem distantiam filo intercedente connexi, revolverentur circa commune gravitatis centrum; innotesceret ex tensione fili conatus globorum recedendi ab axe motus, & inde quantitas motus circularis computari posset. Deinde si vires quælibet æquales in alternas globorum facies ad motum circulare augendum vel minuendum simul imprimerentur, innotesceret ex aucta vel diminuta fili tensione augmentum vel decrementum motus; & inde tandem inveniri possent facies globorum in quas vires imprimi deberent, ut motus maxime augeretur; id est, facies posticæ, sive quæ in motu circulari sequuntur. Cognitis autem faciebus quæ sequuntur,

C 2

&amp;



DEFINITIONES.

& faciebus oppositis quæ præcedunt, cognosceretur determinatio motus. In hunc modum inveniri posset & quantitas & determinatio motus hujus circularis in vacuo quovis immenso, ubi nihil extaret externum & sensibile quocum globi conferri possent. Si jam constituerentur in spatio illo corpora aliqua longinqua datam inter se positionem servantia, qualia sunt stellæ fixæ in regionibus cœlorum: sciri quidem non posset ex relativa globorum translatione inter corpora, utrum his an illis tribuendus esset motus. At si attenderetur ad filum, & deprehenderetur tensionem ejus illam ipsam esse quam motus globorum requireret; concludere liceret motum esse globorum, & corpora quiescere; & tum demum ex translatione globorum inter corpora, determinationem hujus motus colligere. Motus autem veros ex eorum causis, effectibus, & apparentibus differentiis colligere, & contra ex motibus seu veris seu apparentibus eorum causas & effectus, docebitur fufius in sequentibus. Hunc enim in finem tractatum sequentem composui.

AXIO.

## AXIOMATA.

AXIOMATA.

SIVE

## LEGES MOTUS.

## LEX I.

*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.*

Projeclilia perseverant in motibus suis, nisi quatenus a resistentia aëris retardantur, & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohærendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari, nisi quatenus ab aëre retardatur. Majora autem planetarum & cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.

## LEX II.

*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*

Si vis aliqua motum quemvis generet; dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus (quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur) si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo oblique adjicitur, & cum eo secundum utriusque determinationem componitur.

LEX



## LEX III.

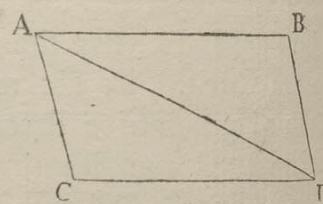
*Actiōi contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.*

Quicquid premit vel trahit alterum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Si quis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi alligatum trahit, retrahetur etiam & equus (ut ita dicam) æqualiter in lapidem: nam funis utrinque distentus eodem relaxandi se conatu urgebit equum versus lapidem, ac lapidem versus equum; tantumque impediet progressum unius quantum promovet progressum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocunque mutaverit, idem quoque vicissim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem pressionis mutuae) subibit. His actionibus æquales fiunt mutationes, non velocitatum, sed motuum; scilicet in corporibus non aliunde impeditis. Mutationes enim velocitatum, in contrarias itidem partes factæ, quia motus æqualiter mutantur, sunt corporibus reciproce proportionales. Obtinet etiam hæc lex in attractionibus, ut in scholio proximo probabitur.

## COROLLARIUM I.

*Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore describere, quo latera separat.*

Si corpus dato tempore, vi sola  $M$  in loco  $A$  impressa, ferretur uniformi cum motu ab  $A$  ad  $B$ ; & vi sola  $N$  in eodem loco impressa, ferretur ab  $A$  ad  $C$ : compleatur parallelogrammum  $ABDC$ , & vi utraque feretur corpus illud eodem tempore in diagonali ab  $A$  ad  $D$ . Nam quoniam vis  $N$  agit secundum lineam  $AC$  ipsi  $BD$  parallelam, hæc vis per legem II nihil mutabit

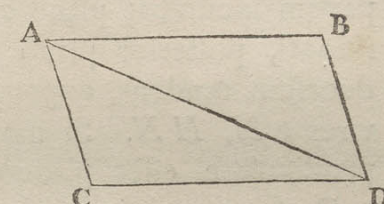


## PRINCIPIA MATHEMATICA.

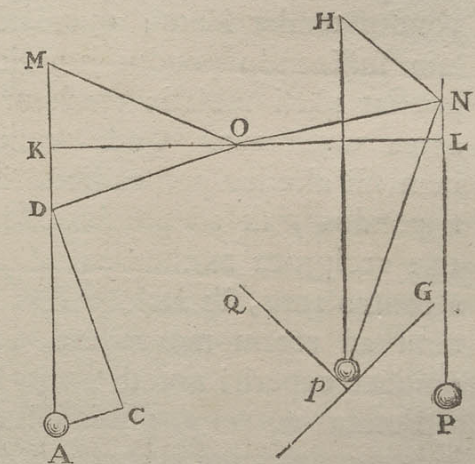
mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam  $BD$  a vi altera genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore ad lineam  $BD$ , sive vis  $N$  imprimatur, sive non; atque ideo in fine illius temporis reperietur alicubi in linea illa  $BD$ . Eodem argumento in fine temporis ejusdem reperietur alicubi in linea  $CD$ , & idcirco in utriusque lineæ concursu  $D$  reperiri necesse est. Perget autem motu rectilineo ab  $A$  ad  $D$  per legem I.

## COROLLARIUM II.

*Et hinc patet compositio vis directæ AD ex viribus quibuscunque obliquis AB & BD, & vicissim resolutio vis cujuscunque directæ AD in obliquas quascunque AB & BD. Quæ quidem compositio & resolutio abunde confirmatur ex mechanica.*



Ut si de rotæ alicujus centro  $O$  exeuntes radii inæquales  $OM$ ,  $ON$  filis  $MA$ ,  $NP$  sustineant pondera  $A$  &  $P$ , & quærantur vires ponderum ad movendam rotam: Per centrum  $O$  agatur recta  $KOL$  filis perpendiculariter occurrens in  $K$  &  $L$ , centroque  $O$  & intervallorum  $OK$ ,  $OL$  majore  $OL$  describatur circulus occurrens filo  $MA$  in  $D$ : & actæ rectæ  $OD$  parallela sit  $AC$ , & perpendicularis  $DC$ . Quoniam nihil refert, utrum filorum puncta  $K$ ,  $L$ ,  $D$  affixa sint an non affixa ad planum rotæ; pondera idem valebunt, ac si suspenderentur a punctis  $K$  &  $L$  vel  $D$  &  $L$ . Ponderis autem  $A$  exponatur vis tota per lineam  $AD$ , & hæc resolvetur in vires  $AC$ ,  $CD$ , quarum  $AC$  trahendo radium  $OD$  directe a centro nihil valet ad movendam rotam; vis autem altera  $DC$ , trahendo radium  $DO$  perpendiculariter, idem



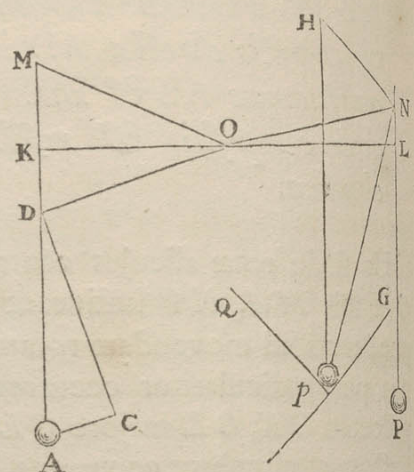


AXIOMATA  
SIVE

idem valet, ac si perpendiculariter traheret radium  $OL$  ipsi  $OD$  æqualem; hoc est, idem atque pondus  $P$ , si modo pondus illud sit ad pondus  $A$  ut vis  $DC$  ad vim  $DA$ , id est (ob similia triangula  $ADC, DOK$ ), ut  $OK$  ad  $OD$  seu  $OL$ . Pondera igitur  $A$  &  $P$ , quæ sunt reciproce ut radii in directum positi  $OK$  &  $OL$ , idem pollebunt, & sic consistent in æquilibrio: quæ est proprietas notissima libræ, vectis, & axis in peritrochio. Sin pondus alterutrum sit majus quam in hac ratione, erit vis ejus ad movendam rotam tanto major.

Quod si pondus  $p$  ponderi  $P$  æquale partim suspendatur filo  $Np$ , partim incumbat plano obliquo  $pG$ : agantur  $pH$ ,  $NH$ , prior horizontali, posterior plano  $pG$  perpendicularis; & si vis ponderis  $p$  deorsum tendens, exponatur per lineam  $pH$ , resolvi potest hæc in vires  $pN$ ,  $HN$ . Si filo  $pN$  perpendicularare effiet planum aliquod  $pQ$ , secans planum alterum  $pG$  in linea ad horizontem parallela; & pondus  $p$  his planis  $pQ$ ,  $pG$  solummodo incumberet; urgeret illud hæc plana viribus  $pN$ ,  $HN$ , perpendiculariter nimirum planum  $pQ$  vi  $pN$ , & planum  $pG$  vi  $HN$ . Ideoque si tollatur planum  $pQ$ , ut pondus tendat filum; quoniam filum sustinendo pondus jam vicem præstat plani sublati, tendetur illud eadem vi  $pN$ , qua planum antea urgebatur. Unde tensio fili hujus obliqui erit ad tensionem fili alterius perpendicularis  $pN$ , ut  $pN$  ad  $pH$ , Ideoque si pondus  $p$  sit ad pondus  $A$  in ratione, quæ componitur ex ratione reciproca minimarum distantiarum filorum suorum  $pN$ ,  $AM$  a centro rotæ, & ratione directæ  $pH$  ad  $pN$ ; pondera idem valent ad rotam movendam, atque ideo se mutuo sustinebunt, ut quilibet experiri potest.

Pondus autem  $p$ , planis illis duobus obliquis incumbens, rationem habet cunei inter corporis fissi facies internas: & inde vires cunei & mallei innotescunt: utpote cum vis qua pondus  $p$  urget planum  $pQ$  fit ad vim, qua idem vel gravitate sua vel ictu mallei impellitur secundum



LEGES  
MOTUS

secundum lineam  $pH$  in plana, ut  $pN$  ad  $pH$ ; atque ad vim, quæ urget planum alterum  $pG$ , ut  $pN$  ad  $NH$ . Sed & vis cochleæ per similem virium divisionem colligitur; quippe quæ cuneus est a vete impulsus. Usus igitur corollarii hujus latissime patet, & late patendo veritatem ejus evincit; cum pendeat ex jam dictis mechanica tota ab auctoribus diversimode demonstrata. Ex hisce enim facile derivantur vires machinarum, quæ ex rotis, tympanis, trochleis, vectibus, nervis tensis & ponderibus directe vel oblique ascendentibus, cæterisque potentiis mechanicis componi solent, ut & vires tendinum ad animalium ossa movenda.

COROLLARIUM III.

*Quantitas motus quæ colligitur capiendò summam motuum factorum ad eandem partem, & differentiam factorum ad contrarias, non mutatur ab actione corporum inter se.*

Etenim actio eique contraria reactio æquales sunt per legem **III**, ideoque per legem **II** æquales in motibus efficiunt mutationes versus contrarias partes. Ergo si motus fiunt ad eandem partem; quicquid additur motui corporis fugientis, subducetur motui corporis insequentis sic, ut summa maneat eadem quæ prius. Sin corpora obviam eant; æqualis erit subductio de motu utriusque, ideoque differentia motuum factorum in contrarias partes manebit eadem.

Ut *fi* corpus sphaericum *A* sit triplo majore corpore sphaerico *B*, habeatque duas velocitatis partes; & *B* sequatur in eadem recta cum velocitatis partibus decem, ideoque motus ipsius *A* sit ad motum ipsius *B*, ut sex ad decem: ponantur motus illis esse partium sex & partium decem, & summa erit partium sexdecim. In corporum igitur concursu, si corpus *A* lucretur motus partes tres vel quatuor vel quinque, corpus *B* amittet partes totidem, ideoque perget corpus *A* post reflexionem cum partibus novem vel decem vel undecim, & *B* cum partibus septem vel sex vel quinque, existente semper summa partium sexdecim ut prius. Si corpus *A* lucretur partes novem vel decem vel undecim vel duodecim, ideoque progrediatur post concursum cum partibus quindecim vel sexdecim vel septendecim vel octodecim; corpus *B*, amittendo tot partes quot *A* lucretur,



AXIOMATA,  
SIVE

vel cum una parte progredietur amissis partibus novem, vel quiescet amisso motu suo progressivo partium decem, vel cum una parte regredietur amisso motu suo & (ut ita dicam) una parte amplius, vel regredietur cum partibus duabus ob detractum motum progressivum partium duodecim. Atque ita summæ motuum conspirantium  $15+1$  vel  $16+0$ , & differentiæ contrariorum  $17-1$  &  $18-2$  semper erunt partium sexdecim, ut ante concursum & reflexionem. Cognitis autem motibus quibuscum corpora post reflexionem pergent, invenietur cujusque velocitas, ponendo eam esse ad velocitatem ante reflexionem, ut motus post est ad motum ante. Ut in casu ultimo, ubi corporis *A* motus erat partium sex ante reflexionem & partium octodecim postea, & velocitas partium duarum ante reflexionem; invenietur ejus velocitas partium sex post reflexionem, dicendo, ut motus partes sex ante reflexionem ad motus partes octodecim postea, ita velocitatis partes duæ ante reflexionem ad velocitatis partes sex postea.

Quod si corpora vel non sphærica vel diversis in rectis moventia incidant in se mutuo oblique, & requirantur eorum motus post reflexionem; cognoscendus est situs plani a quo corpora concurrentia tanguntur in puncto concursus: dein corporis utriusque motus (per Corol. 11.) distinguendus est in duos, unum huic plano perpendicularem, alterum eidem parallelum: motus autem paralleli, propterea quod corpora agant in se invicem secundum lineam huic plano perpendicularem, retinendi sunt iidem post reflexionem atque antea; & motibus perpendicularibus mutationes æquales in partes contrarias tribuendæ sunt sic, ut summa conspirantium & differentia contrariorum maneat eadem quæ prius. Ex hujusmodi reflexionibus oriri etiam solent motus circulares corporum circa centra propria. Sed hos casus in sequentibus non considero, & nimis longum esset omnia huc spectantia demonstrare.

COROL.

LEGES  
MOTUS.

## COROLLARIUM IV.

*Commune gravitatis centrum corporum duorum vel plurium, ab actionibus corporum inter se, non mutat statum suum vel motus vel quietis; & propterea corporum omnium in se mutuo agentium (exclusis actionibus & impedimentis externis) commune centrum gravitatis vel quiescit vel movetur uniformiter in directum.*

Nam si puncta duo progrediantur uniformi cum motu in lineis rectis, & distantia eorum dividatur in ratione data, punctum dividens vel quiescit vel progreditur uniformiter in linea recta. Hoc postea in lemmate XXIII ejusque corollario demonstratur, si punctorum motus fiant in eodem plano; & eadem ratione demonstrari potest, si motus illi non fiant in eodem plano. Ergo si corpora quocunque moventur uniformiter in lineis rectis, commune centrum gravitatis duorum quorumvis vel quiescit vel progreditur uniformiter in linea recta; propterea quod linea, horum corporum centra in rectis uniformiter progredientia jungens, dividitur ab hoc centro communi in ratione data. Similiter & commune centrum horum duorum & tertii cujusvis vel quiescit vel progreditur uniformiter in linea recta; propterea quod ab eo dividitur distantia centri communis corporum duorum & centri corporis tertii in data ratione. Eodem modo & commune centrum horum trium & quarti cujusvis vel quiescit vel progreditur uniformiter in linea recta; propterea quod ab eo dividitur distantia inter centrum commune trium & centrum quarti in data ratione, & sic in infinitum. Igitur in systemate corporum, quæ actionibus in se invicem aliisque omnibus in se extrinsecus impressis omnino vacant, ideoque moventur singula uniformiter in rectis singulis, commune omnium centrum gravitatis vel quiescit vel movetur uniformiter in directum.

Porro in systemate duorum corporum in se invicem agentium, cum distantia centrorum utriusque a communi gravitatis centro sint reciproce ut corpora; erunt motus relativi corporum eorundem, vel accedendi ad centrum illud vel ab eodem recedendi, æquales inter se.

D 2

se.



AXIOMATA,  
SIVE

se. Proinde centrum illud a motuum æqualibus mutationibus in partes contrarias factis, atque ideo ab actionibus horum corporum inter se, nec promovetur nec retardatur nec mutationem patitur in statu suo quoad motum vel quietem. In systemate autem corporum plurium, quoniam duorum quorumvis in se mutuo agentium commune gravitatis centrum ob actionem illam nullatenus mutat statum suum; & reliquorum, quibuscum actio illa non intercedit, commune gravitatis centrum nihil inde patitur; distantia autem horum duorum centrorum dividitur a communi corporum omnium centro in partes summis totalibus corporum quorum sunt centra reciproce proportionales; ideoque centris illis duobus statum suum movendi vel quiescendi servantibus, commune omnium centrum servat etiam statum suum: manifestum est quod commune illud omnium centrum ob actiones binorum corporum inter se nunquam mutat statum suum quoad motum & quietem. In tali autem systemate actiones omnes corporum inter se, vel inter bina sunt corpora, vel ab actionibus inter bina compositæ; & propterea communi omnium centro mutationem in statu motus ejus vel quietis nunquam inducunt. Quare cum centrum illud ubi corpora non agunt in se invicem, vel quiescit, vel in recta aliqua progreditur uniformiter; perget idem, non obstantibus corporum actionibus inter se, vel semper quiescere, vel semper progredi uniformiter in directum; nisi a viribus in systema extrinsecus impressis deturbetur de hoc statu. Est igitur systematis corporum plurium lex eadem, quæ corporis solitarii, quoad perseverantiam in statu motus vel quietis. Motus enim progressivus seu corporis solitarii seu systematis corporum ex motu centri gravitatis æstimari semper debet.

## COROLLARIUM V.

*Corporum dato spatio inclusorum iidem sunt motus inter se, sive spatium illud quiescat, sive moveatur idem uniformiter in directum sine motu circulari.*

Nam differentię motuum tendentium ad eandem partem, & summae tendentium ad contrarias, eadem sunt sub initio in utroque casu (ex hypothesi) & ex his summis vel differentiis oriuntur congressus

LEGES  
MOTUS

gressus & impetus quibus corpora se mutuo feriunt. Ergo per legem II æquales erunt congressuum effectus in utroque casu; & propterea manebunt motus inter se in uno casu æquales motibus inter se in altero. Idem comprobatur experimento luculento. Motus omnes eodem modo se habent in navi, sive ea quiescat, sive moveatur uniformiter in directum.

## COROLLARIUM VI.

*Si corpora moveantur quomodocunque inter se, & a viribus acceleratricibus æqualibus secundum lineas parallelas urgeantur; pergent omnia eodem modo moveri inter se, ac si viribus illis non essent incitata.*

Nam vires illæ æqualiter (pro quantitibus movendorum corporum) & secundum lineas parallelas agendo, corpora omnia æqualiter (quoad velocitatem) movebunt per legem II. ideoque nunquam mutabunt positiones & motus eorum inter se.

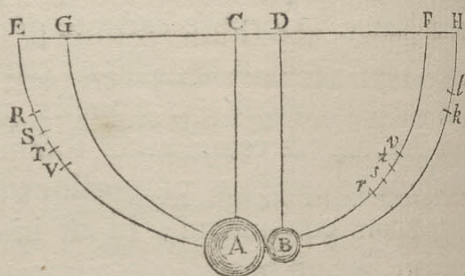
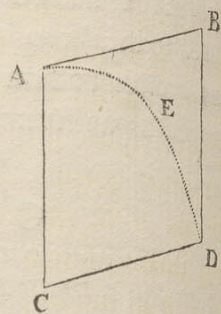
*Scholium.*

Haftenus principia tradidi a mathematicis recepta & experientia multiplici confirmata. Per leges duas primas & corollaria duo prima *Galileus* invenit descensum gravium esse in duplicata ratione temporis, & motum projectilium fieri in parabola; conspirante experientia, nisi quatenus motus illi per aëris resistentiam aliquantulum retardantur. Corpore cadente gravitas uniformis, singulis temporis particulis æqualibus æqualiter agendo imprimit vires æquales in corpus illud, & velocitates æquales generat: & tempore toto vim totam imprimit & velocitatem totam generat tempori proportionalem. Et spatia temporibus proportionalibus descripta, sunt ut velocitates & tempora conjunctim; id est in duplicata ratione temporum. Et corpore fursum projecto gravitas uniformis vires imprimit & velocitates aufert temporibus proportionales; ac tempora ascendendi ad altitudines summas sunt ut velocitates auferendæ, & altitudines illæ sunt ut velocitates ac tempora conjunctim, seu in duplicata ratione velocitatum.



AXIOMATA,  
SIVE

velocitatum. Et corporis secundum rectam quamvis projecti motus a projectione oriundus cum motu a gravitate oriundo componitur. Ut si corpus  $A$  motu solo projectionis dato tempore describere posset rectam  $AB$  & motu solo cadendi eodem tempore describere posset altitudinem  $AC$ : compleatur parallelogrammum  $ABDC$ , & corpus illud motu composito reperietur in fine temporis in loco  $D$ ; & curva linea  $AED$ , quam corpus illud describet, erit parabola quam recta  $AB$  tangit in  $A$ , & cujus ordinata  $BD$  est ut  $ABq$ . Ab iisdem legibus & corollariis pendent demonstrata de temporibus oscillantium pendulorum, suffragante horologiorum experientia quotidiana. Ex his iisdem & lege tertia *Christophorus Wrennus* eques auratus, *Johannes Wallisus* *S.T.D.* & *Christianus Hugenius*, ætatis superioris geometrarum facile principes, regulas congressuum & reflexionum durorum corporum seorsim invenerunt, & eodem fere tempore cum *Societate Regia* communicarunt, inter se (quoad has leges) omnino conspirantes: & primus quidem *Wallisus*, deinde *Wrennus* & *Hugenius* inventum prodiderunt. Sed & veritas comprobata est a *Wrenno* coram *Regia Societate* per experimentum pendulorum: quod etiam *Clarissimus Mariottus* libro integro exponere mox dignatus est. Verum, ut hoc experimentum cum theoriis ad amissim congruat, habenda est ratio, cum resistentiæ aëris, tum etiam vis elasticæ concurrentium corporum. Pendeant corpora sphaerica  $A, B$  filis parallelis & æqualibus  $AC, BD$ , a centris  $C, D$ . His centris & intervallis describantur semicirculi  $EAF, GBH$  radiis  $CA, DB$  bisecti. Trahatur corpus  $A$  ad arcum  $EAF$  punctum quodvis  $R$ , & (subducto corpore  $B$ ) demittatur inde, redeatque post unam oscillationem ad punctum  $V$ . Est  $RV$  retardatio ex resistentia aeris. Hujus  $RV$  fiat  $ST$  pars quarta sita in medio, ita scilicet ut  $RS$  &  $TV$  æquantur, sitque  $RS$  ad  $ST$  ut 3 ad 2. Et ista  $ST$  exhibebit retardationem in descensu ab  $S$  ad  $A$  quam



LEGES  
MOTUS.

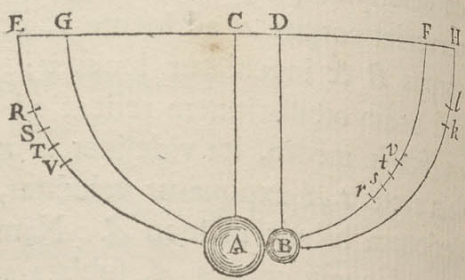
$A$  quam proxime. Restituatur corpus  $B$  in locum suum. Cadat corpus  $A$  de puncto  $S$ , & velocitas ejus in loco reflexionis  $A$  sine errore sensibili tanta erit, ac si in vacuo cecidisset de loco  $T$ . Exponatur igitur hæc velocitas per chordam arcus  $TA$ . Nam velocitatem penduli in puncto infimo esse ut chordam arcus, quem cadendo descripsit, propositio est geometris notissima. Post reflexionem perveniat corpus  $A$  ad locum  $s$ , & corpus  $B$  ad locum  $k$ . Tollatur corpus  $B$  & inveniatur locus  $v$ ; a quo si corpus  $A$  demittatur & post unam oscillationem redeat ad locum  $r$ , sit  $st$  pars quarta ipsius  $rv$  sita in medio, ita videlicet ut  $rs$  &  $tv$  æquantur; & per chordam arcus  $tA$  exponatur velocitas, quam corpus  $A$  proxime post reflexionem habuit in loco  $A$ . Nam  $t$  erit locus ille verus & correctus, ad quem corpus  $A$ , sublata aeris resistentia, ascendere debuisset. Simili methodo corrigendus erit locus  $k$ , ad quem corpus  $B$  ascendit, & inveniendus locus  $l$ , ad quem corpus illud ascendere debuisset in vacuo. Hoc pacto experiri licet omnia, perinde ac si in vacuo constituti essemus. Tandem ducendum erit corpus  $A$  (ut ita dicam) in chordam arcus  $TA$ , quæ velocitatem ejus exhibet, ut habeatur motus ejus in loco  $A$  proxime ante reflexionem; deinde in chordam arcus  $tA$ , ut habeatur motus ejus in loco  $A$  proxime post reflexionem. Et sic corpus  $B$  ducendum erit in chordam arcus  $B l$ , ut habeatur motus ejus proxime post reflexionem. Et simili methodo, ubi corpora duo simul demittuntur de locis diversis, inveniendi sunt motus utriusque tam ante, quam post reflexionem; & tum demum conferendi sunt motus inter se & colligendi effectus reflexionis. Hoc modo in pendulis pedum decem rem tentando, idque in corporibus tam inæqualibus quam æqualibus, & faciendo ut corpora de intervallis amplissimis, puta pedum octo vel duodecim vel sexdecim, concurrerent; reperi semper sine errore trium digitorum in mensuris, ubi corpora sibi mutuo directe occurrebant, æquales esse mutationes motuum corporibus in partes contrarias illatæ, atque ideo actionem & reactionem semper esse æquales. Ut si corpus  $A$  incidebat in corpus  $B$  quiescens cum novem partibus motus, & amissis septem partibus pergebat post reflexionem cum duabus; corpus  $B$  resilliebat cum partibus istis septem. Si corpora obviam ibant,  $A$  cum duodecim partibus &  $B$  cum sex, & redibat  $A$  cum duabus; redibat  $B$  cum octo, facta detractio partium quatuordecim utrinque. De motu ipsius  $A$  subducantur partes duodecim



AXIOMATA,  
SIVE

decim & restabit nihil: subducantur aliæ partes duæ, & fiet motus duarum partium in plagam contrariam: & sic de motu corporis *B* partium sex subducendo partes quatuordecim, fient partes octo in plagam contrariam. Quod si corpora ibant ad eandem plagam, *A* velocius cum partibus quatuordecim, & *B* tardius cum partibus quinque, & post reflexionem pergebat *A* cum quinque partibus; pergebat *B* cum quatuordecim, facta translatione partium novem de *A* in *B*. Et sic in reliquis. A congressu & collisione corporum nunquam mutabatur quantitas motus, quæ ex summa motuum conspirantium & differentia contrariorum colligebatur. Nam errorem digiti unius & alterius in mensuris tribuerim difficultati peragendi singula satis accurate. Difficile erat, tum pendula simul demittere sic, ut corpora in se mutuo impingerent in loco infimo *AB*; tum loca *s*, *k* notare, ad quæ corpora ascendebant post concursum. Sed & in ipsis corporibus pendulis inæqualis partium densitas, & textura aliis de causis irregularis, errores inducebant.

Porro nequis objiciat regulam, ad quam probandam inventum est hoc experimentum, præsupponere corpora vel absolute dura esse, vel saltem perfecte elastica, cujusmodi nulla reperiuntur in compositionibus naturalibus; addo quod experimenta jam descripta succedunt in corporibus mollibus æque ac in duris, nimirum a conditione duritiei neutiquam pendencia. Nam si regula illa in corporibus non perfecte duris tentanda est, debet solummodo reflexio minui in certa proportionem pro quantitate vis elasticæ. In theoria *Wrennii* & *Hugenii* corpora absolute dura redeunt ab invicem cum velocitate congressus. Certius id affirmabitur de perfecte elasticis. In imperfecte elasticis velocitas reditus minuenda est simul cum vi elastica; propterea quod vis illa, (nisi ubi partes corporum ex congressu læduntur, vel extensionem aliqualem quasi sub malleo patiuntur,) certa ac determinata sit (quantum sentio) faciatque ut corpora redeant ab invicem cum velocitate relativa, quæ sit ad relativam velocitatem concursus in data ratione. Id in pilis ex lana

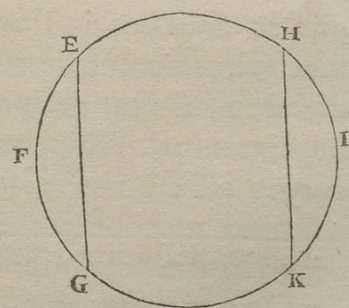


LEGES  
MOTUS.

lana arcte conglomerata & fortiter constricta sic tentavi. Primum demittendo pendula & mensurando reflexionem, inveni quantitatem vis elasticæ; deinde per hanc vim determinavi reflexiones in aliis casibus concursuum, & respondebant experimenta. Redibant semper pilæ ab invicem cum velocitate relativa, quæ esset ad velocitatem relativam concursus ut 5 ad 9 circiter. Eadem fere cum velocitate redibant pilæ ex chalybe: aliæ ex subere cum paulo minore: in vitreis autem proportio erat 15 ad 16 circiter. Atque hoc pacto lex tertia quoad ictus & reflexiones per theoriam comprobata est, quæ cum experientia plane congruit.

In attractionibus rem sic breviter ostendo. Corporibus duobus quibuscumque *A*, *B* se mutuo trahentibus, concipe obstaculum quodvis interponi, quo congressus eorum impediatur. Si corpus alterutrum *A* magis trahitur versus corpus alterum *B*, quam illud alterum *B* in prius *A*, obstaculum magis urgebitur pressione corporis *A* quam pressione corporis *B*; proindeque non manebit in æquilibrio. Prævalebit pressio fortior, facietque ut systema corporum duorum & obstaculi moveatur in directum in partes versus *B*, motuque in spatiis liberis semper accelerato abeat in infinitum. Quod est absurdum & legi primæ contrarium. Nam per legem primam debet systema perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, proindeque corpora æqualiter urgebunt obstaculum, & idcirco æqualiter trahentur in invicem. Tentavi hoc in magnete & ferro. Si hæc in vasculis propriis sese contingentibus seorsim posita, in aqua stagnante juxta fluitent; neutrum propellet alterum, sed æqualitate attractionis utrinque sustinebunt conatus in se mutuos, ac tandem in æquilibrio constituta quiescent.

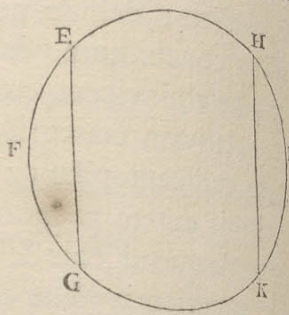
Sic etiam gravitas inter terram & ejus partes mutua est. Secetur terra *FI* plano quovis *EG* in partes duas *EGF* & *EGI*: & æqualia erunt harum pondera in se mutuo. Nam si plano alio *HK* quod priori *EG* parallelum sit, pars major *EGI* secetur in partes duas *EGKH* & *HKI*, quarum *HKI* æqualis sit parti prius abscissæ *EGF*: manifestum est quod pars media *EGKH* pondere proprio, in neutram partium extremarum propendebit, sed inter utramque in æqui-





AXIOMATA,  
SIVE

æquilibrio, ut ita dicam, suspendetur, & quiescet. Pars autem extrema  $HKI$  toto suo pondere incumbet in partem mediam, & urgebit illam in partem alteram extremam  $EGF$ ; ideoque vis qua partium  $HKI$  &  $EGKH$  summa  $EGI$  tendit versus partem tertiam  $EGF$ , æqualis est ponderi partis  $HKI$ , id est ponderi partis tertiæ  $EGF$ . Et propterea pondera partium duarum  $EGI$ ,  $EGF$  in se mutuo sunt æqualia, uti volui ostendere. Et nisi pondera illa æqualia essent, terra tota in libero æthere fluitans ponderi majori cederet, & ab eo fugiendo abiret in infinitum.



Ut corpora in concursu & reflexione idem pollent, quorum velocitates sunt reciproce ut vires insitæ: sic in movendis instrumentis mechanicis agentia idem pollent & conatibus contrariis se mutuo sustinent, quorum velocitates secundum determinationem virium æstimatæ, sunt reciproce ut vires. Sic pondera æquipollent ad movenda brachia libræ, quæ oscillante libra sunt reciproce ut eorum velocitates sursum & deorsum: hoc est, pondera, si recta ascendunt & descendunt, æquipollent, quæ sunt reciproce ut punctorum a quibus suspenduntur distantia ab axe libræ; sin planis obliquis aliisve admotis obstaculis impedita ascendunt vel descendunt oblique, æquipollent, quæ sunt reciproce ut ascensus & descensus, quatenus facti secundum perpendicularum: idque ob determinationem gravitatis deorsum. Similiter in trochlea seu polyspasto vis manus funem directe trahentis, quæ sit ad pondus vel directe vel oblique ascendens ut velocitas ascensus perpendicularis ad velocitatem manus funem trahentis, sustinebit pondus. In horologiis & similibus instrumentis, quæ ex rotulis commissis constructa sunt, vires contrariæ ad motum rotularum promovendum & impediendum, si sunt reciproce ut velocitates partium rotularum in quas imprimuntur, sustinebunt se mutuo. Vis cochleæ ad premendum corpus est ad vim manus manubrium circumagentis, ut circularis velocitas manubrii ea in parte ubi a manu urgetur, ad velocitatem progressivam cochleæ versus corpus pressum. Vires quibus Cuneus urget partes duas ligni fissi sunt ad vim mallei in cuneum, ut progressus cunei secundum determinationem vis a malleo in ipsum impressæ,

LEGES  
MOTUS.

impressæ, ad velocitatem qua partes ligni cedunt cuneo, secundum lineas faciebus cunei perpendiculares. Et par est ratio machinarum omnium.

Harum efficacia & usus in eo solo consistit, ut diminuendo velocitatem augeamus vim, & contra: Unde solvitur in omni aptorum instrumentorum genere problema, *Datum pondus data vi movendi*, aliamve datam resistantiam vi data superandi. Nam si machinæ ita formentur, ut velocitates agentis & resistantis sint reciproce ut vires; agens resistantiam sustinebit: & majori cum velocitatum disparitate eandem vincet. Certe si tanta sit velocitatum disparitas, ut vincatur etiam resistantia omnis, quæ tam ex contiguum & inter se labentium corporum attritione, quam ex continuorum & ab invicem separandorum cohesione & elevandorum ponderibus oriri solet; superata omni ea resistantia, vis redundans accelerationem motus sibi proportionalem, partim in partibus machinæ, partim in corpore resistente producet. Cæterum mechanicam tractare non est hujus instituti. Hisce volui tantum ostendere, quam late pateat quamque certa sit lex tertia motus. Nam si æstimetur agentis actio ex ejus vi & velocitate conjunctim; & similiter resistantis reactio æstimetur conjunctim ex ejus partium singularum velocitatibus & viribus resistendi ab earum attritione, cohesione, pondere, & acceleratione oriundis; erunt actio & reactio, in omni instrumentorum usu, sibi invicem semper æquales. Et quatenus actio propagatur per instrumentum & ultimo imprimitur in corpus omne resistens, ejus ultima determinatio determinationi reactionis semper erit contraria.



DE  
MOTU CORPORUM  
LIBER PRIMUS.

## SECTION I.

*De methodo rationum primarum & ultimarum, cujus ope sequentia demonstrantur.*

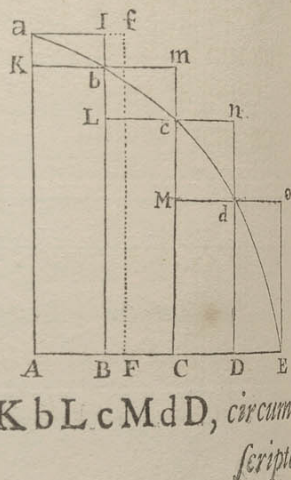
## LEMMA I.

*Quantitates, ut & quantitatum rationes, quæ ad æqualitatem tempore quovis finito constanter tendunt, & ante finem temporis illius propius ad invicem accedunt quam pro data quavis differentia, sunt ultimo æquales.*

**S**i negas; fiant ultimo inæquales, & sit earum ultima differentia  $D$ . Ergo nequeunt propius ad æqualitatem accedere quam pro data differentia  $D$ : contra hypothesin.

## LEMMA II.

*Si in figura quavis  $AacE$ , rectis  $Aa$ ,  $AE$  & curva  $acE$  comprehensa, inscribantur parallelogramma quotcunque  $Ab$ ,  $Bc$ ,  $Cd$ , &c. sub basibus  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ , &c. æqualibus, & lateribus  $Bb$ ,  $Cc$ ,  $Dd$ , &c. figuræ lateri  $Aa$  parallelis contenta; & compleantur parallelogramma  $aKbl$ ,  $bLcm$ ,  $cMdn$ , &c. Dein horum parallelogrammorum latitudo minuatur, & numerus augeatur in infinitum: dico quod ultimæ rationes quas habent ad se invicem figura inscripta  $AKbLcMdD$ , circum-*



*scripta  $AalbmcndoE$ , & curvilinea  $AabcdE$ , sunt rationes æqualitatis.*

Nam figuræ inscriptæ & circumscriptæ differentia est summa parallelogrammorum  $Kl$ ,  $Lm$ ,  $Mn$ ,  $Do$ , hoc est (ob æquales omnium bases) rectangulum sub unius basi  $Kb$  & altitudinum summa  $Aa$ , id est, rectangulum  $ABla$ . Sed hoc rectangulum, eo quod latitudo ejus  $AB$  in infinitum minuitur, fit minus quovis dato. Ergo (per lemma 1) figura inscripta & circumscripta & multo magis figura curvilinea intermedia fiunt ultimo æquales. *Q. E. D.*

## LEMMA III.

*Eadem rationes ultimæ sunt etiam rationes æqualitatis, ubi parallelogrammorum latitudines  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ , &c. sunt inæquales, & omnes minuuntur in infinitum.*

Sit enim  $AF$  æqualis latitudini maximæ, & compleatur parallelogrammum  $FAaf$ . Hoc erit majus quam differentia figuræ inscriptæ & figuræ circumscriptæ; at latitudine sua  $AF$  in infinitum diminuta, minus fiet dato quovis rectangulo. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc summa ultima parallelogrammorum evanescentium coincidit omni ex parte cum figura curvilinea.

*Corol. 2.* Et multo magis figura rectilinea, quæ chordis evanescentium arcuum  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ , &c. comprehenditur, coincidit ultimo cum figura curvilinea.

*Corol. 3.* Ut & figura rectilinea circumscripta quæ tangentibus eorundem arcuum comprehenditur.

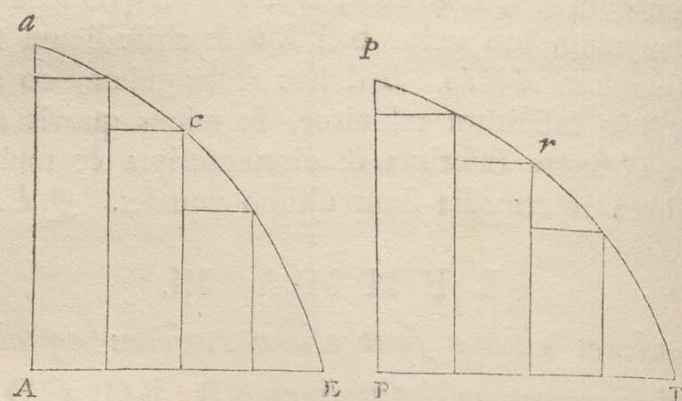
*Corol. 4.* Et propterea hæ figuræ ultimæ (quoad perimetros  $acE$ ,) non sunt rectilineæ, sed rectilinearum limites curvilinei.

## LEMMA IV.

*Si in duabus figuris  $AacE$ ,  $PprT$ , inscribantur (ut supra) due parallelogrammorum series, sitque idem amborum numerus, & ubi latitudines in infinitum diminuuntur, rationes ultimæ parallelogrammorum in una figura ad parallelogramma*



gramma in altera, singulorum ad singula, sint eadem; dico quod figurae duæ  $AacE$ ,  $PprT$ , sunt ad invicem in eadem illa ratione.



Etenim ut sunt parallelogramma singula ad singula, ita (componendo) fit summa omnium ad summam omnium, & ita figura ad figuram; existente nimirum figura priore (per lemma III) ad summam priorem, & figura posteriore ad summam posteriorem in ratione æqualitatis. Q. E. D.

Corol. Hinc si duæ cujuscunque generis quantitates in eundem partium numerum utcunque dividantur; & partes illæ, ubi numerus earum augetur & magnitudo diminuitur in infinitum, datam obtineant rationem ad invicem, prima ad primam, secunda ad secundam, cæteræque suo ordine ad cæteras: erunt tota ad invicem in eadem illa data ratione. Nam si in lemmatis hujus figuris sumantur parallelogramma inter se ut partes, summæ partium semper erunt ut summæ parallelogrammorum; atque ideo, ubi partium & parallelogrammorum numerus augetur & magnitudo diminuitur in infinitum, in ultima ratione parallelogrammi ad parallelogrammum, id est (per hypothefin) in ultima ratione partis ad partem.

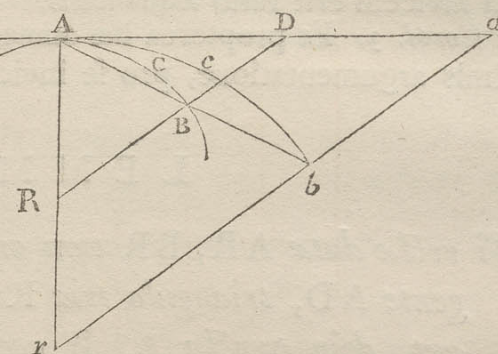
## L E M M A V.

Similium figurarum latera omnia, quæ sibi mutuo respondent, sunt proportionalia, tam curvilinea quam rectilinea; & areae sunt in duplicata ratione laterum.

L E M M A

## L E M M A VI.

Si arcus quilibet positione datus  $ACB$  subiendatur chorda  $AB$ , & in puncto aliquo  $A$ , in medio curvaturæ continua, tangatur a recta utrinque producta  $AD$ ; dein puncta  $A$ ,  $B$  ad invicem accedant & coeant; dico quod angulus  $BAD$ , sub chorda & tangente contentus, minuetur in infinitum & ultimo evanescet.



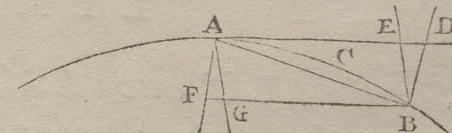
Nam si angulus ille non evanescit, continebit arcus  $ACB$  cum tangente  $AD$  angulum rectilineo æqualem, & propterea curvatura ad punctum  $A$  non erit continua, contra hypothefin.

## L E M M A VII.

Iisdem positis; dico quod ultima ratio arcus, chordæ, & tangentis ad invicem est ratio æqualitatis.

Nam dum punctum  $B$  ad punctum  $A$  accedit, intelligantur semper  $AB$  &  $AD$  ad puncta longinqua  $b$  ac  $d$  produci, & secanti  $BD$  parallela agatur  $bd$ . Sitque arcus  $Acb$  semper similis arcui  $ACB$ . Et punctis  $A$ ,  $B$  coeuntibus, angulus  $dAb$ , per lemma superius, evanescet; ideoque rectæ semper finitæ  $Ab$ ,  $Ad$ , & arcus intermedius  $Acb$  coincident, & propterea æquales erunt. Unde & hisce semper proportionales rectæ  $AB$ ,  $AD$ , & arcus intermedius  $ACB$  evanescunt, & rationem ultimam habebunt æqualitatis. Q. E. D.

Corol. I. Unde si per  $B$  ducatur tangenti parallela  $BF$ , rectam quamvis  $AF$  per  $A$  transeuntem perpetuo secans in  $F$ , hæc  $BF$  ultimo ad arcum evanescentem  $ACB$  rationem habebit æqualitatis, eo quod completo parallelogrammo  $AFBD$  rationem semper habet æqualitatis ad  $AD$ .



Corol.







*Corol. 1.* Et hinc facile colligitur, quod corporum similes similitum figurarum partes temporibus proportionalibus describentium errores, qui viribus quibuscumque æqualibus ad corpora similiter applicatis generantur, & mensurantur per distantias corporum a figurarum similitum locis illis, ad quæ corpora eadem temporibus iisdem proportionalibus sine viribus illis pervenirent, sunt ut quadrata temporum in quibus generantur quam proxime.

*Corol. 2.* Errores autem qui viribus proportionalibus ad similes figurarum similitum partes similiter applicatis generantur, sunt ut vires & quadrata temporum conjunctim.

*Corol. 3.* Idem intelligendum est de spatiis quibuscumque quæ corpora urgentibus diversis viribus describunt. Hæc sunt, ipso motus initio, ut vires & quadrata temporum conjunctim.

*Corol. 4.* Ideoque vires sunt ut spatia, ipso motus initio, descripta directe & quadrata temporum inverse.

*Corol. 5.* Et quadrata temporum sunt ut descripta spatia directe & vires inverse.

## Scholium.

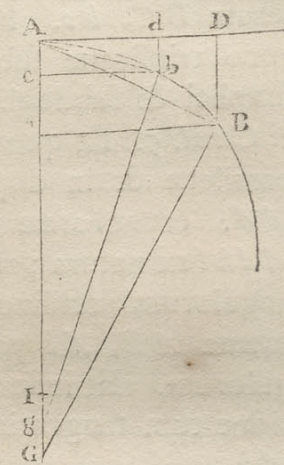
Si quantitates indeterminatæ diversorum generum conferantur inter se, & earum aliqua dicatur esse ut est alia quævis directe vel inverse: sensus est, quod prior augetur vel diminuitur in eadem ratione cum posteriore, vel cum ejus reciproca. Et si earum aliqua dicatur esse ut sunt aliæ duæ vel plures directe vel inverse: sensus est, quod prima augetur vel diminuitur in ratione quæ componitur ex rationibus in quibus aliæ vel aliarum reciproca augentur vel diminuantur. Ut si A dicatur esse ut B directe & C directe & D inverse: sensus est, quod A augetur vel diminuitur in eadem ratione cum  $B \times C \times \frac{1}{D}$  hoc est, quod A &  $\frac{BC}{D}$  sunt ad invicem in ratione data.

## L E M M A XI.

*Subtensa evanescens anguli contactus, in curvis omnibus curvaturam finitam ad punctum contactus habentibus, est ultimo in ratione duplicata subtensæ arcus contermini.*

Cas.

*Cas. 1.* Sit arcus ille  $AB$ , tangens ejus  $AD$ , subtensa anguli contactus ad tangentem perpendicularis  $BD$ , subtensa arcus  $AB$ . Huic subtensæ  $AB$  & tangenti  $AD$  perpendiculares erigantur  $AG$ ,  $BG$ , concurrentes in  $G$ ; dein accedant puncta  $D$ ,  $B$ ,  $G$ , ad puncta  $d$ ,  $b$ ,  $g$ , sitque  $g$  intersectio linearum  $BG$ ,  $AG$  ultimo facta ubi puncta  $D$ ,  $B$  accedunt usque ad  $A$ . Manifestum est quod distantia  $Gg$  minor esse potest quam assignata quævis. Est autem (ex natura circularum per puncta  $ABG$ ,  $Abg$  transeuntium)  $AB$  quad. æquale  $AG \times BD$ , &  $Ab$  quad. æquale  $Ag \times bd$ ; ideoque ratio  $AB$  quad. ad  $Ab$  quad. componitur ex rationibus  $AG$  ad  $Ag$  &  $BD$  ad  $bd$ . Sed quoniam  $Gg$  assumi potest minor longitudine quavis assignata, fieri potest ut ratio  $AG$  ad  $Ag$  minus differat a ratione æqualitatis quam pro differentia quavis assignata, ideoque ut ratio  $AB$  quad. ad  $Ab$  quad. minus differat a ratione  $BD$  ad  $bd$  quam pro differentia quavis assignata. Est ergo, per lemma 1, ratio ultima  $AB$  quad. ad  $Ab$  quad. eadem cum ratione ultima  $BD$  ad  $bd$ . Q. E. D.



*Cas. 2.* Inclinetur jam  $BD$  ad  $AD$  in angulo quovis dato, & eadem semper erit ratio ultima  $BD$  ad  $bd$  quæ prius, ideoque eadem ac  $AB$  quad. ad  $Ab$  quad. Q. E. D.

*Cas. 3.* Et quamvis angulus  $D$  non detur, sed recta  $BD$  ad datum punctum convergat, vel alia quacunque lege constituatur; tamen anguli  $D$ ,  $d$  communi lege constituti ad æqualitatem semper vergent & propius accedent ad invicem quam pro differentia quavis assignata, ideoque ultimo æquales erunt, per lem. 1, & propterea lineæ  $BD$ ,  $bd$  sunt in eadem ratione ad invicem ac prius. Q. E. D.

*Corol. 1.* Unde cum tangentes  $AD$ ,  $Ad$ , arcus  $AB$ ,  $Ab$ , & eorum sinus  $BC$ ,  $bc$  fiant ultimo chordis  $AB$ ,  $Ab$  æquales; erunt etiam illorum quadrata ultimo ut subtensæ  $BD$ ,  $bd$ .

*Corol. 2.* Eorundem quadrata sunt etiam ultimo ut sunt arcuum sagittæ, quæ chordas bisecant & ad datum punctum convergunt. Nam sagittæ illæ sunt ut subtensæ  $BD$ ,  $bd$ .

*Corol. 3.* Ideoque sagitta est in duplicata ratione temporis quo corpus data velocitate describit arcum.

F 2

Corol.



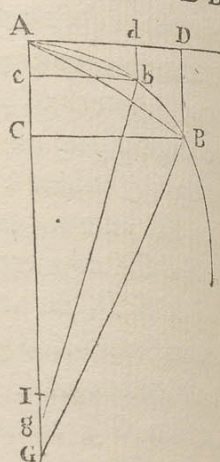
*Corol. 4.* Triangula rectilinea  $ADB$ ,  $Adb$  sunt ultimo in triplicata ratione laterum  $AD$ ,  $Ad$ , inque sesquuplicata laterum  $DB$ ,  $db$ ; utpote in composita ratione laterum  $AD$  &  $DB$ ,  $Ad$  &  $db$  existentia. Sic & triangula  $ABC$ ,  $Abc$  sunt ultimo in triplicata ratione laterum  $BC$ ,  $bc$ . Rationem vero sesquiplicatam voco triplicatæ subduplicatam, quæ nempe ex simplici & subduplicata componitur.

*Corol. 5.* Et quoniam  $DB$ ,  $db$  sunt ultimo parallelæ & in duplicata ratione ipsarum  $AD$ ,  $Ad$ : erunt areae ultimæ curvilineæ  $ADB$ ,  $Adb$  (ex natura parabolæ) duæ tertiæ partes triangulorum rectilineorum  $ADB$ ,  $Adb$ ; & segmenta  $AB$ ,  $Ab$  partes tertiæ eorundem triangulorum. Et inde hæ areae & hæc segmenta erunt in triplicata ratione tum tangentium  $AD$ ,  $Ad$ ; tum chordarum & arcuum  $AB$ ,  $Ab$ .

*Scholium.*

Cæterum in his omnibus supponimus angulum contactus nec infinite majorem esse angulis contactuum, quos circuli continent cum tangentibus suis, nec iisdem infinite minorem; hoc est, curvaturam ad punctum  $A$ , nec infinite parvam esse nec infinite magnam, seu intervallum  $Af$  finitæ esse magnitudinis. Capi enim potest  $DB$  ut  $AD$ : quo in casu circulus nullus per punctum  $A$  inter tangentem  $AD$  & curvam  $AB$  duci potest, proindeque angulus contactus erit infinite minor circularibus. Et simili argumento si fiat  $DB$  successive ut  $AD^2$ ,  $AD^3$ ,  $AD^4$ ,  $AD^5$ , &c. habebitur series angulorum contactus pergens in infinitum, quorum quilibet posterior est infinite minor priore. Et si fiat  $DB$  successive ut  $AD^2$ ,  $AD^3$ ,  $AD^4$ ,  $AD^5$ ,  $AD^6$ ,  $AD^7$ , &c. habebitur alia series infinita angulorum contactus, quorum primus est ejusdem generis cum circularibus, secundus infinite major, & quilibet posterior infinite major priore. Sed & inter duos quosvis ex his angulis potest series utrinque in infinitum pergens angulorum intermediarum inferi, quorum quilibet posterior erit infinite major minorve priore. Ut si inter terminos  $AD^2$  &  $AD^3$  inseratur series  $AD^{\frac{5}{2}}$ ,  $AD^{\frac{3}{2}}$ ,  $AD^{\frac{7}{2}}$ ,  $AD^{\frac{9}{2}}$ ,  $AD^{\frac{11}{2}}$ ,  $AD^{\frac{13}{2}}$ , &c.

AD



$AD^{\frac{1}{2}}$ ,  $AD^{\frac{3}{2}}$ ,  $AD^{\frac{5}{2}}$ ,  $AD^{\frac{7}{2}}$ ,  $AD^{\frac{9}{2}}$ ,  $AD^{\frac{11}{2}}$ , &c. Et rursus inter binos quosvis angulos hujus seriei inferi potest series nova angulorum intermediarum ab invicem infinitis intervallis differentium. Neque novit natura limitem.

Quæ de curvis lineis deque superficiebus comprehensis demonstrata sunt, facile applicantur ad solidorum superficies curvas & contenta. Præmissi vero hæc lemmata, ut effugerem tædium deducendi longas demonstrationes, more veterum geometrarum, ad absurdum. Contraiores enim redduntur demonstrationes per methodum indivisibilium. Sed quoniam durior est indivisibilium hypothesis, & propterea methodus illa minus geometrica censetur; malui demonstrationes rerum sequentium ad ultimas quantitatum evanescentium summas & rationes, primasque nascentium, id est, ad limites summarum & rationum deducere; & propterea limitum illorum demonstrationes qua potui brevitate præmittere. His enim idem præstat quod per methodum indivisibilium; & principiis demonstratis jam tutius utemur. Proinde in sequentibus, siquando quantitates tanquam ex particulis constantes consideravero, vel si pro rectis usurpavero lineolas curvas; nolim indivisibilia, sed evanescentia divisibilia, non summas & rationes partium determinatarum, sed summarum & rationum limites semper intelligi; vimque talium demonstrationum ad methodum præcedentium lemmatum semper revocari.

Objeccio est, quod quantitatum evanescentium nulla sit ultima proportio; quippe quæ, antequam evanuerunt, non est ultima, ubi evanuerunt, nulla est. Sed & eodem argumento æque contendere posset nullam esse corporis ad certum locum, ubi motus finiatur, pervenientis velocitatem ultimam: hanc enim, antequam corpus attingit locum, non esse ultimam, ubi attingit, nullam esse. Et responsio facilis est: Per velocitatem ultimam intelligi eam, qua corpus movetur, neque antequam attingit locum ultimum & motus cessat, neque postea, sed tunc cum attingit; id est, illam ipsam velocitatem quacum corpus attingit locum ultimum & quacum motus cessat. Et similiter per ultimam rationem quantitatum evanescentium, intelligendam esse rationem quantitatum, non antequam evanescunt, non postea, sed quacum evanescunt. Pariter & ratio prima nascentium est ratio quacum nascuntur. Et summa prima & ultima est







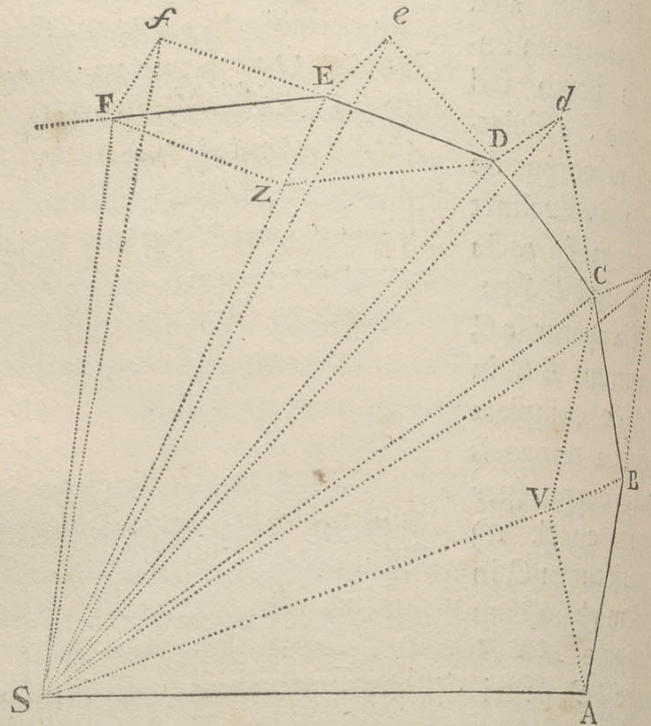
*Corol. 1.* Velocitas corporis in centrum immobile attracti est in spatiis non resistentibus reciproce ut perpendicularum a centro illo in orbis tangentem rectilineam demissum. Est enim velocitas in locis

illis  $A, B, C, D, E$ , ut sunt bases æqualium triangulorum  $AB, BC, CD, DE, EF$ ; & hæ bases sunt reciproce ut perpendiculara in ipsas demissa.

*Corol. 2.* Si arcuum duorum æqualibus temporibus in spatiis non resistentibus ab eodem corpore successive descriptorum chordæ  $AB, BC$  compleantur in parallelogrammum  $ABCV$ , & hujus diagonalis  $BV$  in ea positione quam ultimo habet ubi arcus illi in infinitum diminuuntur, producat utrinque; transibit eadem per centrum virium.

*Corol. 3.* Si arcuum æqualibus temporibus in spatiis non resistentibus descriptorum chordæ  $AB, BC$  ac  $DE, EF$  compleantur in parallelogramma  $ABCV, DEFZ$ ; vires in  $B$  &  $E$  sunt ad invicem in ultima ratione diagonalium  $BV, EZ$ , ubi arcus isti in infinitum diminuuntur. Nam corporis motus  $BC$  &  $EF$  componuntur (per legem corol. 1.) ex motibus  $Bc, BV$  &  $Ef, EZ$ ; atqui  $BV$  &  $EZ$ , ipsi  $Cc$  &  $Ff$  æquales, in demonstratione propositionis hujus generantur ab impulsibus vis centripetæ in  $B$  &  $E$ , ideoque sunt his impulsibus proportionales.

*Corol. 4.* Vires quibus corpora quælibet in spatiis non resistentibus a motibus rectilineis retrahuntur ac detorquentur in orbis curvos sunt inter se ut arcuum æqualibus temporibus descriptorum sagittæ illæ quæ convergunt ad centrum virium, & chordas bisecant ubi



ubi arcus illi in infinitum diminuuntur. Nam hæ sagittæ sunt semis-diagonalia, de quibus egimus in corollario tertio.

*Corol. 5.* Ideoque vires eadem sunt ad vim gravitatis, ut hæ sagittæ ad sagittas horizonti perpendiculares arcuum parabolicorum, quos projectilia eodem tempore describunt.

*Corol. 6.* Eadem omnia obtinent per legem corol. v. ubi plana, in quibus corpora moventur, una cum centris virium, quæ in ipsis sita sunt, non quiescunt, sed moventur uniformiter in directum.

PROPOSITIO II. THEOREMA II.

*Corpus omne, quod movetur in linea aliqua curva in plano descripta, & radio ducto ad punctum vel immobile, vel motu rectilineo uniformiter progrediens, describit areas circa punctum illud temporibus proportionales, urgetur a vi centripeta tendente ad idem punctum.*

*Cas. 1.* Nam corpus omne, quod movetur in linea curva, detorquetur de cursu rectilineo per vim aliquam in ipsum agentem (per leg. 1.) Et vis illa, qua corpus de cursu rectilineo detorquetur, & cogitur triangula quam minima  $SAB, SBC, SCD$ , &c. circa punctum immobile  $S$  temporibus æqualibus æqualia describere, agit in loco  $B$  secundum lineam parallelam ipsi  $cC$  (per prop. xl. lib. 1. elem. & leg. 11.) hoc est, secundum lineam  $BS$ ; & in loco  $C$  secundum lineam ipsi  $dD$  parallelam, hoc est, secundum lineam  $SC$ , &c. Agit ergo semper secundum lineas tendentes ad punctum illud immobile  $S$ . Q. E. D.

*Cas. 2.* Et, per legem corollarium quintum, perinde est, si quiescat superficies, in qua corpus describit figuram curvilineam, siue moveatur eadem una cum corpore, figura descripta, & puncto suo  $S$  uniformiter in directum.

*Corol. 1.* In spatiis vel mediis non resistentibus, si areae non sunt temporibus proportionales, vires non tendunt ad concursum radiorum; sed inde declinant in consequentia, seu versus plagam in quam fit motus, si modo arearum descriptio acceleratur: sin retardatur, declinant in antecedentia.

G

*Corol.*



*Corol. 2.* In mediis etiam resistentibus, si arearum descriptio accelleratur, virium directiones declinant a concursu radiorum versus plagam, in quam fit motus.

*Scholium.*

Urgeri potest corpus a vi centripeta composita ex pluribus viribus. In hoc casu sensus propositionis est, quod vis illa quæ ex omnibus componitur, tendit ad punctum *S*. Porro si vis aliqua agat perpetuo secundum lineam superficiæ descriptæ perpendicularem; hæc faciet ut corpus deflectatur a plano sui motus: sed quantitatem superficiæ descriptæ nec augebit nec minuet, & propterea in compositione virium negligenda est.

PROPOSITIO III. THEOREMA III.

*Corpus omne, quod radio ad centrum corporis alterius utrumque moti ducto describit areas circa centrum illud temporibus proportionales, urgetur vi composita ex vi centripeta tendente ad corpus illud alterum, & ex vi omni acceleratrice qua corpus illud alterum urgetur.*

Sit corpus primum *L*, & corpus alterum *T*: & (per legem corol. vi.) si vi nova, quæ æqualis & contraria sit illi, qua corpus alterum *T* urgetur, urgeatur corpus utrumque secundum lineas parallelas; perget corpus primum *L* describere circa corpus alterum *T* areas easdem ac prius: vis autem, qua corpus alterum *T* urgebatur, jam destruetur per vim sibi æqualem & contrariam; & propterea (per leg. i.) corpus illud alterum *T* sibi met ipsi jam relictum vel quiescet, vel movebitur uniformiter in directum: & corpus primum *L* urgente differentia virium, id est, urgente vi reliqua perget areas temporibus proportionales circa corpus alterum *T* describere. Tendit igitur (per theor. ii.) differentia virium ad corpus illud alterum *T* ut centrum. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc si corpus unum *L* radio ad alterum *T* ducto describit areas temporibus proportionales; atque de vi tota (sive simpliciter, sive ex viribus pluribus juxta legem corollarium secundum composita)

composita) qua corpus prius *L* urgetur, subducatur (per idem legem corollarium) vis tota acceleratrix, qua corpus alterum urgetur: vis omnis reliqua, qua corpus prius urgetur, tendet ad corpus alterum *T* ut centrum.

*Corol. 2.* Et, si areae illæ sunt temporibus quamproxime proportionales, vis reliqua tendet ad corpus alterum *T* quamproxime.

*Corol. 3.* Et vice versa, si vis reliqua tendit quamproxime ad corpus alterum *T*, erunt areae illæ temporibus quamproxime proportionales.

*Corol. 4.* Si corpus *L* radio ad alterum corpus *T* ducto describit areas, quæ cum temporibus collatæ sunt valde inæquales; & corpus illud alterum *T* vel quiescit, vel movetur uniformiter in directum: actio vis centripetæ ad corpus illud alterum *T* tendentis vel nulla est, vel miscetur & componitur cum actionibus admodum potentibus aliarum virium: visque tota ex omnibus, si plures sunt vires, composita ad aliud (sive immobile sive mobile) centrum dirigitur. Idem obtinet, ubi corpus alterum motu quocunque movetur; si modo vis centripeta sumatur, quæ restat post subtractionem vis totius in corpus illud alterum *T* agentis.

*Scholium.*

Quoniam æquabilis arearum descriptio index est centri, quod vis illa respicit, qua corpus maxime afficitur, quaque retrahitur a motu rectilineo, & in orbita sua retinetur; quidni usurpemus in sequentibus æquabilem arearum descriptionem ut indicem centri, circum quod motus omnis circularis in spatiis liberis peragitur?

PROPOSITIO IV. THEOREMA IV.

*Corporum, quæ diversos circulos æquabili motu describunt, vires centripetas ad centra eorundem circulorum tendere; & esse inter se, ut sunt arcuum simul descriptorum quadrata applicata ad circulorum radios.*

Tendunt hæ vires ad centra circulorum per prop. ii. & corol. 2. prop. i. & sunt inter se ut arcuum æqualibus temporibus quam mi-



nimis descriptorum sinus versi per corol. 4. prop. 1. hoc est, ut quadrata arcuum eorundem ad diametros circulorum applicata per lem. vii. & propterea, cum hi arcus sint ut arcus temporibus quibuscumque æqualibus descripti, & diametri sint ut eorum radii; vires erunt ut arcuum quorumvis simul descriptorum quadrata applicata ad radios circulorum. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Cum arcus illi sint ut velocitates corporum, vires centripetæ erunt in ratione composita ex duplicata ratione velocitatum directe, & ratione simplici radorum inverse.

*Corol. 2.* Et, cum tempora periodica sint in ratione composita ex ratione radorum directe, & ratione velocitatum inverse; vires centripetæ sunt in ratione composita ex ratione radorum directe, & ratione duplicata temporum periodicorum inverse.

*Corol. 3.* Unde si tempora periodica æquantur, & propterea velocitates sint ut radii; erunt etiam vires centripetæ ut radii: & contra.

*Corol. 4.* Si & tempora periodica, & velocitates sint in ratione subduplicata radorum; æquales erunt vires centripetæ inter se: & contra.

*Corol. 5.* Si tempora periodica sint ut radii, & propterea velocitates æquales; vires centripetæ erunt reciproce ut radii: & contra.

*Corol. 6.* Si tempora periodica sint in ratione sesquialtera radorum, & propterea velocitates reciproce in radorum ratione subduplicata; vires centripetæ erunt reciproce ut quadrata radorum: & contra.

*Corol. 7.* Et universaliter, si tempus periodicum sit ut radii  $R^p$  potestas quælibet  $R^p$ , & propterea velocitas reciproce ut radii potestas  $R^{p-1}$ ; erit vis centripeta reciproce ut radii potestas  $R^{2p-1}$ : & contra.

*Corol. 8.* Eadem omnia de temporibus, velocitatibus, & viribus, quibus corpora similes figurarum quarumcunque similium, centraque in figuris illis similiter posita habentium, partes describunt, consequuntur ex demonstratione præcedentium ad hosce casus applicata. Applicatur autem substituendo æquabilem arearum descriptionem pro æquabili motu, & distantias corporum a centrīs pro radiis usurpando.

*Corol. 9.* Ex eadem demonstratione consequitur etiam; quod arcus, quem corpus in circulo data vi centripeta uniformiter revolvendo

vendo tempore quovis describit, medius est proportionalis inter diametrum circuli, & descensum corporis eadem data vi eodemque tempore cadendo confectum.

*Scholium.*

Casus corollarii sexti obtinet in corporibus cœlestibus, (ut seorsum collegerunt etiam nostrates *Wrennius*, *Hookius* & *Hallæus*) & propterea quæ spectant ad vim centripetam decrescentem in duplicata ratione distantiarum a centrīs, decrevi fusius in sequentibus exponere.

Porro præcedentis propositionis & corollariorum ejus beneficio, colligitur etiam proportio vis centripetæ ad vim quamlibet notam, qualis est ea gravitatis. Nam si corpus in circulo terræ concentrico vi gravitatis suæ revolvatur, hæc gravitas est ipsius vis centripeta. Datur autem ex descensu gravium & tempus revolutionis unius, & arcus dato quovis tempore descriptus, per hujus corol. ix. Et hujusmodi propositionibus *Hugenius* in eximio suo tractatu *de Horologio Oscillatorio* vim gravitatis cum revolvantium viribus centrifugis contulit.

Demonstrari etiam possunt præcedentia in hunc modum. In circulo quovis describi intelligatur polygonum laterum quocumque. Et si corpus in polygoni lateribus data cum velocitate movendo ad ejus angulos singulos a circulo reflectatur; vis, qua singulis reflexionibus impingit in circulum, erit ut ejus velocitas: ideoque summa virium in dato tempore erit ut velocitas illa, & numerus reflexionum conjunctim: hoc est (si polygonum detur specie) ut longitudo dato illo tempore descripta, & aucta vel diminuta in ratione longitudinis ejusdem ad circuli prædicti radium; id est, ut quadratum longitudinis illius applicatum ad radium: ideoque, si polygonum lateribus infinite diminutis coincidat cum circulo, ut quadratum arcus dato tempore descripti applicatum ad radium. Hæc est vis centrifuga, qua corpus urget circulum; & huic æqualis est vis contraria, qua circulus continuo repellit corpus centrum versus.

PROPOSITIO

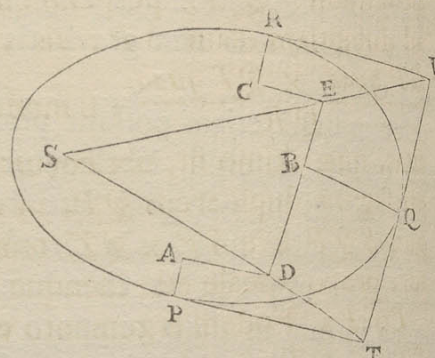


## PROPOSITIO V. PROBLEMA I.

Data quibuscunque in locis velocitate, qua corpus figuram datam viribus ad commune aliquod centrum tendentibus describit, centrum illud invenire.

Figuram descriptam tangant rectæ tres  $PT, TQ, VR$  in punctis totidem  $P, Q, R$ , concurrentes in  $T & V$ . Ad tangentes erigantur perpendiculara  $PA, QB, RC$  velocitatibus corporis in punctis illis  $P, Q, R$ , a quibus eriguntur, reciproce proportionalia; id est, ita ut sit  $PA$  ad  $QB$  ut velocitas in  $Q$  ad velocitatem in  $P$ , &  $QB$  ad  $RC$  ut velocitas in  $R$  ad velocitatem in  $Q$ . Per perpendicularorum terminos  $A, B, C$  ad angulos rectos ducantur  $AD, DBE, EC$  concurrentes in  $D & E$ : Et actæ  $TD, VE$  concurrent in centro quaesito  $S$ .

Nam perpendiculara a centro  $S$  in tangentes  $PT, QT$  demissa (per corol. 1. prop. 1.) sunt reciproce ut velocitates corporis in punctis  $P & Q$ ; ideoque per constructionem ut perpendiculara  $AP, BQ$  directe, id est ut perpendiculara a puncto  $D$  in tangentes demissa. Unde facile colligitur quod puncta  $S, D, T$  sunt in una recta. Et simili argumento puncta  $S, E, V$  sunt etiam in una recta; & propterea centrum  $S$  in concursu rectarum  $TD, VE$  versatur.  $Q. E. D.$



## PROPOSITIO VI. THEOREMA V.

Si corpus in spatio non resistente circa centrum immobile in orbe quocunque revolvatur, & arcum quemvis jamjam nascentem tempore quam minimo describat, & sagitta arcus duci intelligatur, quæ chordam bisecet, & producta transeat per

per centrum virium: erit vis centripeta in medio arcus, ut sagitta directe & tempus bis inverse. LIBER  
PRIMUS.

Nam sagitta dato tempore est ut vis (per corol. 4. prop. 1.) & augendo tempus in ratione quavis, ob auctum arcum in eadem ratione sagitta augetur in ratione illa duplicata (per corol. 2 & 3, lem. XI.) ideoque est ut vis semel & tempus bis. Subducatur duplicata ratio temporis utrinque, & fiet vis ut sagitta directe & tempus bis inverse.  $Q. E. D.$

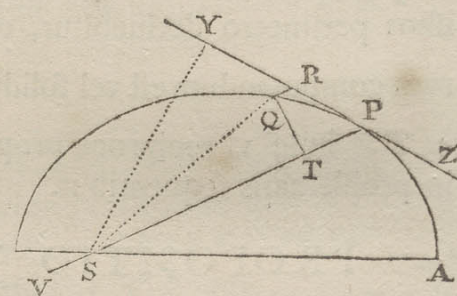
Idem facile demonstratur etiam per corol. 4. lem. x.

Corol. 1. Si corpus  $P$  revolvendo circa centrum  $S$  describat lineam curvam  $APQ$ ; tangat vero recta  $ZPR$  curvam illam in puncto quovis  $P$ , & ad tangentem ab alio quovis curvæ puncto  $Q$  agatur  $QR$  distantia  $SP$  parallela, ac demittatur  $QT$  perpendicularis ad distantiam illam  $SP$ : vis centripeta erit reciproce ut solidum  $SP \text{ quad.} \times QT \text{ quad.}$   $QR$ ; si modo solidi illius ea semper fumatur quantitas, quæ ultimo fit, ubi coeunt puncta  $P & Q$ . Nam  $QR$  æqualis est sagittæ dupli arcus  $QP$ , in cujus medio est  $P$ , & duplum trianguli  $SQP$  five  $SP \times QT$ , tempori, quo arcus iste duplus describitur, proportionale est; ideoque pro temporis exponente scribi potest.

Corol. 2. Eodem argumento vis centripeta est reciproce ut solidum  $STq \times QPq$   $QR$ , si modo  $ST$  perpendicularum sit a centro virium in orbis tangentem  $PR$  demissum. Nam rectangula  $ST \times QP$  &  $SP \times QT$  æquantur.

Corol. 3. Si orbis vel circulus est, vel circulum concentrice tangit, aut concentrice secat, id est, angulum contactus aut sectionis cum circulo quam minimum continet, eandem habens curvaturam eundemque radium curvaturæ ad punctum  $P$ ; & si  $PV$  chorda sit circuli hujus a corpore per centrum virium acta: erit vis centripeta reciproce ut solidum  $STq \times PV$ . Nam  $PV$  est  $\frac{QPq}{QR}$ .

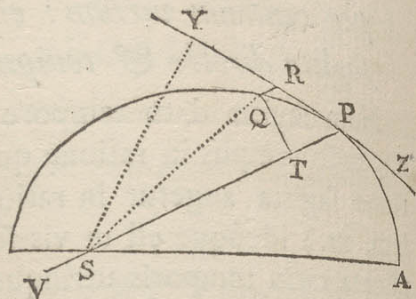
Corol.





Corol. 4. Iisdem positis, est vis centripeta ut velocitas bis directe, & chorda illa inverse. Nam velocitas est reciproce ut perpendicularum  $ST$  per corol. 1. prop. 1.

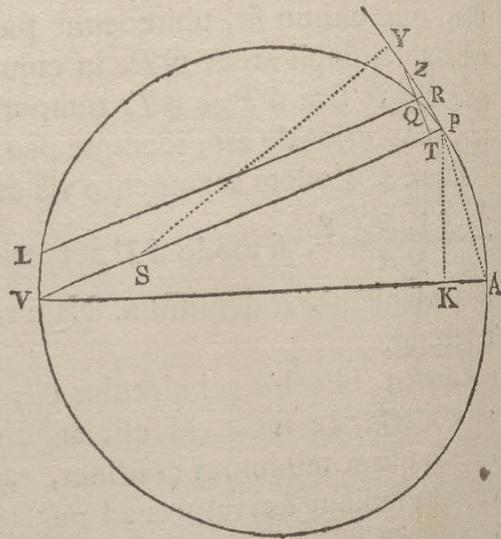
Corol. 5. Hinc si detur figura quævis curvilinea  $APQ$ , & in ea detur etiam punctum  $S$ , ad quod vis centripeta perpetuo dirigitur, inveniri potest lex vis centripetæ, quæ corpus quodvis  $P$  a cursu rectilineo perpetuo retractum in figuræ illius perimetro detinebitur, eamque revolvendo describet. Nimirum computandum est vel solidum  $\frac{SPq \times QTq}{QR}$  vel solidum  $STq \times PV$  huic vi reciproce proportionale. Ejus rei dabimus exempla in problematis sequentibus.



PROPOSITIO VII. PROBLEMA II.

Gyretur corpus in circumferentia circuli, requiritur lex vis centripetæ tendentis ad punctum quodcunque datum.

Esto circuli circumferentia  $VQPA$ ; punctum datum, ad quod vis ceu ad centrum suum tendit,  $S$ ; corpus in circumferentia latum  $P$ ; locus proximus, in quem movebitur  $Q$ ; & circuli tangens ad locum priorem  $PRZ$ . Per punctum  $S$  ducatur chorda  $PV$ ; & acta circuli diametro  $VA$ , jungatur  $AP$ ; & ad  $SP$  demittatur perpendicularum  $QT$ , quod productum occurrat tangenti  $PR$  in  $Z$ ; ac denique per punctum  $Q$  agatur  $LR$ , quæ ipsi  $SP$  parallela sit, & occurrat tum circulo in  $L$ , tum tangenti  $PZ$  in  $R$ . Et ob similia triangula  $ZQR$ ,  $ZTP$ ,  $VPA$ ; erit  $RP$  quad. hoc est  $QRL$  ad  $QT$  quad.



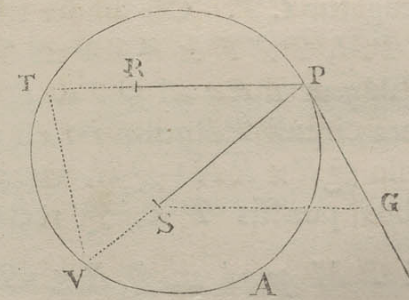
$QT$  quad. ut  $AV$  quad. ad  $PV$  quad. Ideoque  $\frac{QRL \times PV \text{ quad.}}{AV \text{ quad.}}$  æquatur  $QT$  quad. Ducantur hæc æqualia in  $\frac{SP \text{ quad.}}{QR}$ , & punctis  $P$  &  $Q$  coeuntibus scribatur  $PV$  pro  $RL$ . Sic fiet  $\frac{SP \text{ quad.} \times PV \text{ cub.}}{AV \text{ quad.}}$  æquale  $\frac{SP \text{ quad.} \times QT \text{ quad.}}{QR}$ . Ergo (per corol. 1. & 5. prop. vi.) vis centripeta est reciproce ut  $\frac{SPq \times PV \text{ cub.}}{AV \text{ quad.}}$ ; id est (ob datum  $AV$  quad.) reciproce ut quadratum distantiae seu altitudinis  $SP$  & cubus chordæ  $PV$  conjunctim.  $Q. E. I.$

Idem aliter.

Ad tangentem  $PR$  productam demittatur perpendicularum  $ST$ ; & ob similia triangula  $STP$ ,  $VPA$ ; erit  $AV$  ad  $PV$  ut  $SP$  ad  $ST$ : ideoque  $\frac{SP \times PV}{AV}$  æquale  $ST$ , &  $\frac{SP \text{ quad.} \times PV \text{ cub.}}{AV \text{ quad.}}$  æquale  $ST \text{ quad.} \times PV$ . Et propterea (per corol. 3. & 5. prop. vi.) vis centripeta est reciproce ut  $\frac{SPq \times PV \text{ cub.}}{AVq}$ , hoc est, ob datam  $AV$  reciproce ut  $SPq \times PV \text{ cub.}$   $Q. E. I.$

Corol. 1. Hinc si punctum datum  $S$ , ad quod vis centripeta semper tendit, locetur in circumferentia hujus circuli, puta ad  $V$ ; erit vis centripeta reciproce ut quadrato-cubus altitudinis  $SP$ .

Corol. 2. Vis, qua corpus  $P$  in circulo  $APTV$  circum virium centrum  $S$  revolvitur, est ad vim, qua corpus idem  $P$  in eodem circulo & eodem tempore periodico circum aliud quodvis virium centrum  $R$  revolvi potest, ut  $RP \text{ quad.} \times SP$  ad cubum rectæ  $SG$ , quæ a primo virium centro  $S$  ad orbis tangentem  $PG$  ducitur, & distantiae corporis à secundo virium centro parallela est. Nam per constructionem hujus propositionis vis prior est ad vim posteriorem ut  $RPq \times PT \text{ cub.}$  ad  $SPq \times PV \text{ cub.}$



H

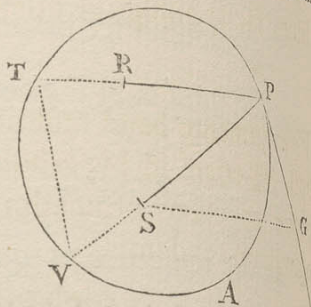
id



DE MOTU  
CORPORUM

id est, ut  $SP \times R P q$  ad  $\frac{SP \text{ cub.} \times PV \text{ cub.}}{PT \text{ cub.}}$ , sive (ob similia tri-  
angula  $PSG, TPV$ ) ad  $SG \text{ cub.}$

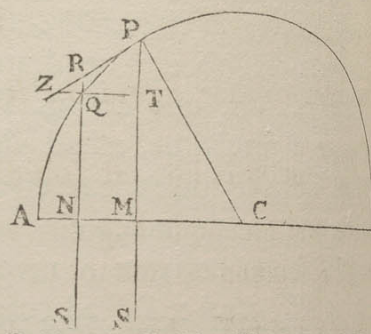
*Corol. 3.* Vis, qua corpus  $P$  in orbe quocunque circum virium  
centrum  $S$  revolvitur, est ad vim, qua  
corpus idem  $P$  in eodem orbe eodem-  
que tempore periodico circum aliud  
quodvis virium centrum  $R$  revolvi po-  
test, ut  $SP \times R P q$ , contentum utique  
sub distantia corporis a primo virium  
centro  $S$  & quadrato distantiae ejus  
a secundo virium centro  $R$ , ad cubum  
rectae  $SG$ , quæ a primo virium centro  $S$  ad orbis tangentem  $PG$   
ducitur, & corporis a secundo virium centro distantiae  $RP$  pa-  
rallela est. Nam vires in hoc orbe ad ejus punctum quodvis  $P$  æ-  
dem sunt ac in circulo ejusdem curvaturæ.



## PROPOSITIO VIII. PROBLEMA III.

*Moveatur corpus in semicirculo  $PQA$ : ad hunc effectum re-  
quiritur lex vis centripetæ tendentis ad punctum adeo lon-  
ginquum  $S$ , ut lineæ omnes  $PS, RS$  ad id ductæ, pro paral-  
lelis haberi possint.*

A semicirculi centro  $C$  agatur semi-  
diameter  $CA$  parallelas istas perpen-  
diculariter secans in  $M$  &  $N$ , &  
jungatur  $CP$ . Ob similia triangula  
 $CPM, PZT$  &  $RZQ$  est  $CPq$  ad  
 $PMq$  ut  $PRq$  ad  $QTq$ , & ex na-  
tura circuli  $PRq$  æquale est rectan-  
gulo  $QR \times RN + QN$ , sive coeun-  
tibus punctis  $P$  &  $Q$  rectangulo  $QR \times 2PM$ . Ergo est  $CPq$   
ad  $PM \text{ quad.}$  ut  $QR \times 2PM$  ad  $QT \text{ quad.}$  ideoque  $\frac{QT \text{ quad.}}{QR}$   
æquale  $\frac{2PM \text{ cub.}}{CP \text{ quad.}}$  &  $\frac{QT \text{ quad.} \times SP \text{ quad.}}{QR}$  æquale  $\frac{2PM \text{ cub.} \times SP \text{ quad.}}{CP \text{ quad.}}$



## PRINCIPIA MATHEMATICA.

LIBER  
PRIMUS.

Est ergo (per corol. 1. & 5. prop. vi.) vis centripeta reciproce ut  
 $\frac{2PM \text{ cub.} \times SP \text{ quad.}}{CP \text{ quad.}}$ , hoc est (neglecta ratione determinata  $\frac{2SP \text{ quad.}}{CP \text{ quad.}}$ )  
reciproce ut  $PM \text{ cub.}$  *Q. E. I.*

Idem facile colligitur etiam ex propositione præcedente.

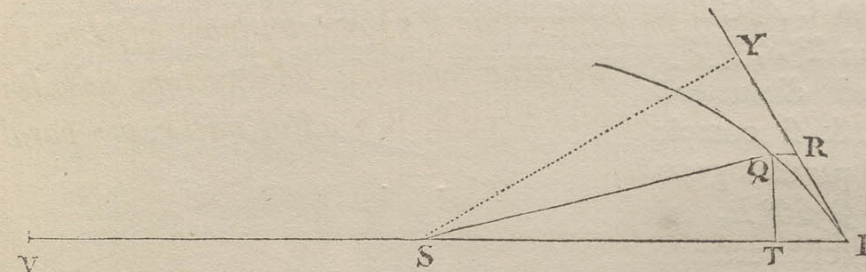
*Scholium.*

Et argumento haud multum dissimili corpus invenietur moveri in  
ellipsi, vel etiam in hyperbola vel parabola, vi centripeta, quæ sit re-  
ciproce ut cubus ordinatim applicatæ ad centrum virium maxime  
longinquum tendentis.

## PROPOSITIO IX. PROBLEMA IV.

*Gyretur corpus in spirali  $PQS$  secante radios omnes  $SP, SQ$ ,  
&c. in angulo dato: requiritur lex vis centripetæ tendentis  
ad centrum spiralis.*

Detur angulus indefinite parvus  $PSQ$ , & ob datos omnes an-



gulos dabitur specie figura  $SPRQT$ . Ergo datur ratio  $\frac{QT}{QR}$ , estque  
 $\frac{QT \text{ quad.}}{QR}$  ut  $QT$ , hoc est (ob datam specie figuram illam) ut  $SP$ .  
Mutetur jam utcumque angulus  $PSQ$ , & recta  $QR$  angulum conta-  
ctus  $QPR$  subtendens mutabitur (per lemma xi.) in duplicata ratione  
ipsius  $PR$  vel  $QT$ . Ergo manebit  $\frac{QT \text{ quad.}}{QR}$  eadem quæ prius, hoc  
est ut  $SP$ . Quare  $\frac{QTq \times SPq}{QR}$  est ut  $SP \text{ cub.}$  ideoque (per corol.  
1. & 5. prop. vi.) vis centripeta est reciproce ut cubus distantiae  $SP$ .  
*Q. E. I.*

H 2

Idem



*Idem aliter.*

Perpendicularum  $ST$  in tangentem demissum, & circuli spiralem concentricæ secantis chorda  $PV$  sunt ad altitudinem  $SP$  in datis rationibus; ideoque  $SP^3$  est ut  $STq \times PV$ , hoc est (per corol. 3. & 5. prop. VI.) reciproce ut vis centripeta.

## L E M M A XII.

*Parallelogramma omnia circa datæ ellipseos vel hyperbolæ diametros quasvis conjugatas descripta esse inter se æqualia.*

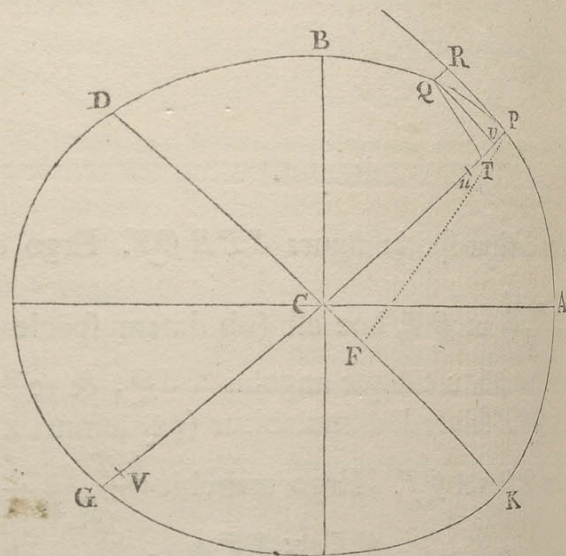
Constat ex conicis.

## PROPOSITIO X. PROBLEMA V.

*Gyretur corpus in ellipsi: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad centrum ellipseos.*

Sunto  $CA, CB$  semiaxes ellipseos;  $GP, DK$  diametri aliæ conjugatæ;  $PF, QT$  perpendiculara ad diametros;  $Qv$  ordinatim applicata ad diametrum  $GP$ ; & si completatur parallelogrammum  $QvPR$ , erit (ex conicis) rectangulum  $PvG$  ad  $Qv$  quad. ut  $PC$  quad. ad  $CD$  quad. & (ob similia triangula  $QvT, PCF$ )  $Qv$  quad. est ad  $QT$  quad. ut  $PC$  quad. ad  $PF$  quad. & conjunctis rationibus, rectangulum  $PvG$  ad  $QT$  quad. ut  $PC$  quad. ad  $CD$  quad. &  $PC$  quad. ad  $PF$  quad. id est,

$vG$  ad  $\frac{QT \text{ quad.}}{Pv}$  ut  $PC$  quad. ad  $\frac{CDq \times PFq}{PCq}$ . Scribe  $QR$  pro  $Pv$ ,



$Pv$ , & (per lemma XII.)  $BC \times CA$  pro  $CD \times PF$ , nec non (punctis  $P$  &  $Q$  coeuntibus)  $2PC$  pro  $vG$ , & ductis extremis & mediis in se mutuo fiet  $\frac{QT \text{ quad.} \times PCq}{QR}$  æquale  $\frac{2BCq \times CAq}{PC}$ . Est ergo

(per corol. 5. prop. VI.) vis centripeta reciproce ut  $\frac{2BCq \times CAq}{PC}$ ;

id est (ob datum  $2BCq \times CAq$ ) reciproce ut  $\frac{1}{PC}$ ; hoc est, directe ut distantia  $PC$ . *Q. E. I.*

*Idem aliter.*

In recta  $PG$  ab altera parte puncti  $T$  sumatur punctum  $u$  ut  $Tu$  sit æqualis ipsi  $Tv$ ; deinde cape  $uV$ , quæ sit ad  $vG$  ut est  $DC$  quad. ad  $PC$  quad. Et quoniam ex conicis est  $Qv$  quad. ad  $PvG$  ut  $DC$  quad. ad  $PC$  quad. erit  $Qv$  quad. æquale  $Pv \times uV$ . Adde rectangulum  $uPv$  utrinque, & prodibit quadratum chordæ arcus  $PQ$  æquale rectangulo  $VpV$ ; ideoque circulus, qui tangit sectionem conicam in  $P$  & transit per punctum  $Q$ , transibit etiam per punctum  $V$ . Coeant puncta  $P$  &  $Q$ , & ratio  $uV$  ad  $vG$ , quæ eadem est cum ratione  $DCq$  ad  $PCq$ , fiet ratio  $PV$  ad  $PG$  seu  $PV$  ad  $2PC$ ; ideoque  $PV$  æqualis erit  $\frac{2DCq}{PC}$ . Proinde vis, qua corpus  $P$  in ellipsi revoluitur,

erit reciproce ut  $\frac{2DCq}{PC}$  in  $PFq$  (per corol. 3. prop. VI.) hoc est (ob datum  $2DCq$  in  $PFq$ ) directe ut  $PC$ . *Q. E. I.*

*Corol. 1.* Est igitur vis ut distantia corporis a centro ellipseos: & vicissim, si vis sit ut distantia, movebitur corpus in ellipsi centrum habente in centro virium, aut forte in circulo, in quem utique ellipsis migrare potest.

*Corol. 2.* Et æqualia erunt revolutionum in ellipsis universis circum centrum idem factarum periodica tempora. Nam tempora illa in ellipsis similibus æqualia sunt (per corol. 3. & 8. prop. IV.) in ellipsis autem communem habentibus axem majorem sunt ad invicem ut ellipseon areæ totæ directe, & arearum particulæ simul descriptæ inverse; id est, ut axes minores directe, & corporum velocitates in verticibus principalibus inverse; hoc est, ut axes illi minores



minores directe, & ordinatim applicatæ ad idem punctum axis communis inverse; & propterea (ob æqualitatem rationum directarum & inversarum) in ratione æqualitatis.

*Scholium.*

Si ellipsis centro in infinitum abeunte vertatur in parabolam, corpus movebitur in hac parabola; & vis ad centrum infinite distans jam tendens evadet æquabilis. Hoc est theorema *Galilei*. Et si conic sectio parabolica (inclinacione plani ad conum sectum mutata) vertatur in hyperbolam, movebitur corpus in hujus perimetro vi centripeta in centrifugam versa. Et quemadmodum in circulo vel ellipsi si vires tendunt ad centrum figuræ in abscissa positum; hæ vires augendo vel diminuendo ordinatas in ratione quacunque data, vel etiam mutando angulum inclinationis ordinarum ad abscissam, semper augentur vel diminuuntur in ratione distantiarum a centro, si modo tempora periodica maneant æqualia; sic etiam in figuris universis si ordinatæ augeantur vel diminuuntur in ratione quacunque data, vel angulus ordinationis utcunque mutetur, manente tempore periodico; vires ad centrum quodcunque in abscissa positum tendentes in singulis ordinatis augentur vel diminuuntur in ratione distantiarum a centro.

SECTIO III.

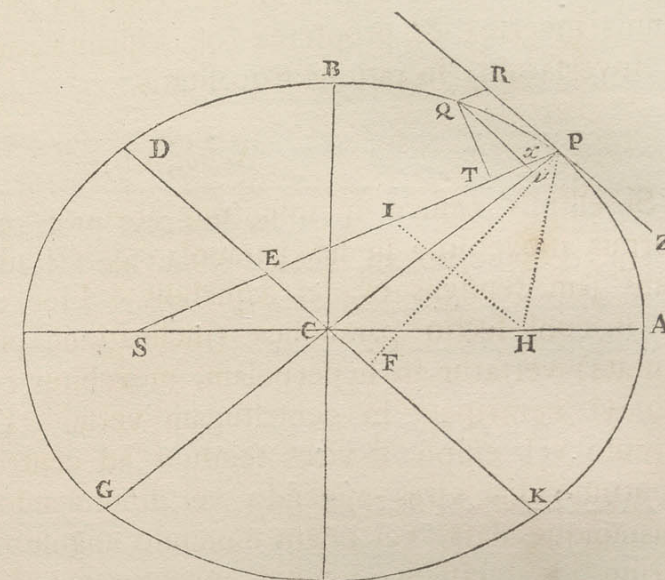
*De motu corporum in conicis sectionibus excentricis.*

PROPOSITIO XI. PROBLEMA VI.

*Revolvatur corpus in ellipsi: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad umbilicum ellipseos.*

Esto ellipseos umbilicus *S*. Agatur *SP* secans ellipseos tum diametrum *DK* in *E*, tum ordinatim applicatam *Qv* in *x*, & compleatur parallelogrammum *QxPR*. Patet *EP* æqualem esse semiaxi majori *AC*, eo quod, acta ab altero ellipseos umbilico *H* linea *HI* ipsi *EC* parallela, ob æquales *CS*, *CH* æquantur *ES*, *EL*,  
adeo

adeo ut *EP* semisumma sit ipsarum *PS*, *PI*, id est (ob parallelas *HI*, *PR*, & angulos æquales *IPR*, *HPZ*) ipsarum *PS*, *PH*, quæ conjunctim axem totum  $2AC$  adæquant. Ad *SP* demittatur perpendicularis *QT*, & ellipseos latere recto principali (seu  $\frac{2BC\text{quad.}}{AC}$ )



dicto *L*, erit  $L \times QR$  ad  $L \times Pv$  ut  $QR$  ad  $Pv$ , id est, ut *PE* seu *AC* ad *PC*; &  $L \times Pv$  ad  $GvP$  ut *L* ad *Gv*; &  $GvP$  ad  $Qv\text{quad.}$  ut *PC quad.* ad *CD quad.* & (per corol. 2. lem. vii.)  $Qv\text{quad.}$  ad  $Qx\text{quad.}$  punctis *Q* & *P* coeuntibus est ratio æqualitatis; &  $Qx\text{quad.}$  seu  $Qv\text{quad.}$  est ad  $QT\text{quad.}$  ut *EP quad.* ad *PF quad.* id est, ut *CA quad.* ad *PF quad.* sive (per lem. xii.) ut *CD quad.* ad *CB quad.* Et conjunctis his omnibus rationibus,  $L \times QR$  fit ad  $QT\text{quad.}$  ut  $AC \times L \times PCq \times CDq$ , seu  $2CBq \times PCq \times CDq$  ad  $PC \times Gv \times CDq \times CBq$ , sive ut  $2PC$  ad *Gv*. Sed punctis *Q* & *P* coeuntibus æquantur  $2PC$  & *Gv*. Ergo & his proportionalia  $L \times QR$  &  $QT\text{quad.}$  æquantur. Ducantur hæc æqualia in  $\frac{SPq}{QR}$ , & fiet  $L \times SPq$  æquale  $\frac{SPq \times QTq}{QR}$ . Ergo (per corol. 1. & 5. prop. vi.) vis centripeta reciproce est ut  $L \times SPq$ , id est, reciproce in ratione duplicata distantiae *SP*. *Q. E. I.*

*Idem aliter.*

Cum vis ad centrum ellipseos tendens, qua corpus *P* in ellipsi illa revolvi potest, fit (per corol. 1. prop. x.) ut *CP* distantia corporis ab ellipseos centro *C*; ducatur *CE* parallela ellipseos tangenti *PR*







Eodem modo demonstratur, quod corpus hac vi centripeta in centrifugam versa movebitur in hyperbola opposita.

## L E M M A XIII.

*Latus rectum parabolæ ad verticem quemvis pertinet est quadruplum distantie verticis illius ab umbilico figuræ. Patet ex conicis.*

## L E M M A XIV.

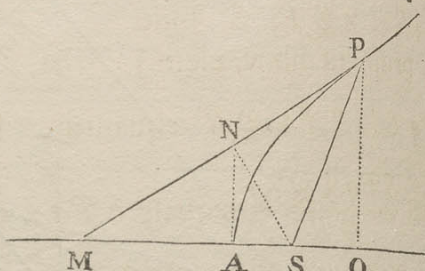
*Perpendiculum, quod ab umbilico parabolæ ad tangentem ejus demittitur, medium est proportionale inter distantias umbilici a puncto contactus & a vertice principali figuræ.*

Sit enim  $AP$  parabola,  $S$  umbilicus ejus,  $A$  vertex principalis,  $P$  punctum contactus,  $PO$  ordinatim applicata ad diametrum principalem,  $PM$  tangens diametro principali occurrens in  $M$ , &  $SN$  linea perpendicularis ab umbilico in tangentem. Jungatur  $AN$  & ob æquales  $MS$  &  $SP$ ,  $MN$ , &  $NP$ ,  $MA$  &  $AO$  parallelæ erunt rectæ  $AN$  &  $OP$ ; & inde triangulum  $SAN$  rectangulum erit ad  $A$ , & simile triangulis æqualibus  $SNM$ ,  $SNP$ : ergo  $PS$  est ad  $SN$  ut  $SN$  ad  $SA$ . Q. E. D.

Corol. 1.  $PSq$  est ad  $SNq$  ut  $PS$  ad  $SA$ .

Corol. 2. Et ob datam  $SA$  est  $SNq$  ut  $PS$ .

Corol. 3. Et concursus tangentis cujuscvis  $PM$  cum recta  $SN$ , quæ ab umbilico in ipsam perpendicularis est, incidit in rectam  $AN$ , quæ parabolam tangit in vertice principali.

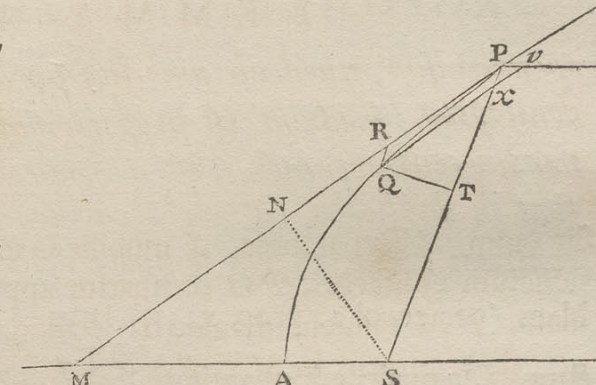


## PROPOSITIO XIII. PROBLEMA VIII.

*Moveatur corpus in perimetro parabolæ: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad umbilicum hujus figuræ.*

Maneat constructio lemmatis, sitque  $P$  corpus in perimetro parabolæ, & a loco  $Q$ , in quem corpus proxime movetur, age ipsi  $SP$  parallelam

parallelam  $QR$  & perpendicularem  $QT$ , necnon  $Qv$  tangenti parallelam, & occurrentem tum diametro  $PG$  in  $v$ , tum distantie  $SP$  in  $x$ . Jam ob similia triangula  $Pxv$ ,  $SPM$ , & æqualia unius latera  $SM$ ,  $SP$ , æqualia sunt alterius latera  $Px$  seu  $QR$  &  $Pv$ . Sed ex conicis quadratum ordinatæ  $Qv$  æquale est rectangulo sub latere recto & segmento diametri  $Pv$ , id est (per lem. XIII.) rectangulo  $4PS \times Pv$ , seu  $4PS \times QR$ ; & punctis  $P$  &  $Q$  coeuntibus, ratio  $Qv$  ad  $Qx$  (per corol. 2. lem. VII.) fit ratio æqualitatis. Ergo  $Qx$  quad. eo in casu æquale est rectangulo  $4PS \times QR$ . Est autem (ob similia triangula  $QxT$ ,  $SPN$ )  $Qxq$  ad  $QTq$  ut  $PSq$  ad  $SNq$ , hoc est (per corol. 1. lem. XIV.) ut  $PS$  ad  $SA$ , id est, ut  $4PS \times QR$  ad  $4SA \times QR$ , & inde (per prop. IX. lib. V. elem.)



$QTq$  &  $4SA \times QR$  æquantur. Ducantur hæc æqualia in  $\frac{SPq}{QR}$ ,

& fiet  $\frac{SPq \times QTq}{QR}$  æquale  $SPq \times 4SA$ : & propterea (per corol. 1.

& 5. prop. VI.) vis centripeta est reciproce ut  $SPq \times 4SA$ , id est, ob datam  $4SA$  reciproce in duplicata ratione distantie  $SP$ . Q. E. I.

Corol. 1. Ex tribus novissimis propositionibus consequens est, quod si corpus quodvis  $P$  secundum lineam quamvis rectam  $PR$  quacunque cum velocitate exeat de loco  $P$ , & vi centripeta, quæ sit reciproce proportionalis quadrato distantie locorum a centro, simul agitur; movebitur hoc corpus in aliqua sectionum conicarum umbilicum habente in centro virium; & contra. Nam datis umbilico, & puncto contactus, & positione tangentis, describi potest sectio conica, quæ curvaturam datam ad punctum illud habebit. Datur autem curvatura ex data vi centripeta, & velocitate corporis: & orbes duo se mutuo tangentes eadem vi centripeta eademque velocitate describi non possunt.

Corol. 2. Si velocitas, quacum corpus exit de loco suo  $P$ , ea sit, qua lineola  $PR$  in minima aliqua temporis particula describi possit,



DE MOTU  
CORPORUM

fit; & vis centripeta potius sit eodem tempore corpus idem movere per spatium  $QR$ : movebitur hoc corpus in conica aliqua sectione, cujus latus rectum principale est quantitas illa  $\frac{QTq}{QR}$ , quæ ultimo fit, ubi lineolæ  $PR$ ,  $QR$  in infinitum diminuuntur. Circulum in his corollariis refero ad ellipsin; & casum excipio, ubi corpus recta descendit ad centrum.

## PROPOSITIO XIV. THEOREMA VI.

*Si corpora plura revolvantur circa centrum commune, & vis centripeta sit reciproce in duplicata ratione distantie locorum a centro; dico quod orbium latera recta principalia sunt in duplicata ratione arearum, quas corpora radiis ad centrum ductis eodem tempore describunt.*

Nam (per corol. 2. prop. XIII.) latus rectum  $L$  æquale est quantitati  $\frac{QTq}{QR}$ ,

quæ ultimo fit, ubi coeunt puncta  $P$  &  $Q$ . Sed linea minima  $QR$  dato tempore est ut vis centripeta generans, hoc est (per hypothesin) reciproce ut  $SPq$ .

Ergo  $\frac{QTq}{QR}$  est ut  $QTq \times SPq$ , hoc est,

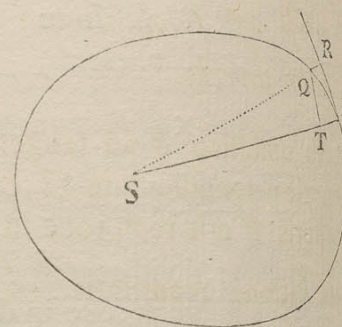
latus rectum  $L$  in duplicata ratione areæ  $QT \times SP$ . *Q. E. D.*

*Corol.* Hinc ellipseos area tota, eique proportionale rectangulum sub axibus est in ratione composita ex subduplicata ratione lateris recti, & ratione temporis periodici. Namque area tota est ut area  $QT \times SP$ , quæ dato tempore describitur, ducta in tempus periodicum.

## PROPOSITIO XV. THEOREMA VII.

*Isdem positis, dico quod tempora periodica in ellipsis sunt in ratione sesquuplicata majorum axium.*

Namque axis minor est medius proportionalis inter axem majorem & latus rectum, atque ideo rectangulum sub axibus est in ratione

LIBER  
PRIMUS.

tione composita ex subduplicata ratione lateris recti & sesquuplicata ratione axis majoris. Sed hoc rectangulum (per corol. prop. XIV.) est in ratione composita ex subduplicata ratione lateris recti & ratione periodici temporis. Dematur utrobique subduplicata ratio lateris recti, & manebit sesquuplicata ratio majoris axis eadem cum ratione periodici temporis. *Q. E. D.*

*Corol.* Sunt igitur tempora periodica in ellipsis eadem ac in circulis, quorum diametri æquantur majoribus axibus ellipseon.

## PROPOSITIO XVI. THEOREMA VIII.

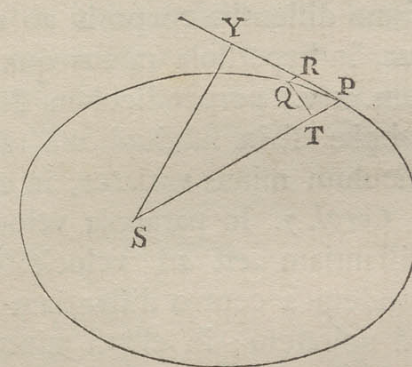
*Isdem positis, & actis ad corpora lineis rectis, quæ ibidem tangant orbitas, demissisque ab umbilico communi ad has tangentes perpendicularibus: dico quod velocitates corporum sunt in ratione composita ex ratione perpendicularorum inverse, & subduplicata ratione laterum rectorum principalium directe.*

Ab umbilico  $S$  ad tangentem  $PR$  demitte perpendicularum  $ST$ , & velocitas corporis  $P$  erit reciproce in subduplicata ratione quantitatis  $\frac{STq}{L}$ . Nam

velocitas illa est ut arcus quam minimus  $PQ$  in data temporis particula descriptus, hoc est (per lem. VII.) ut tangens  $PR$ , id est, ob proportionales  $PR$  ad  $QT$  &  $SP$  ad  $ST$ , ut  $\frac{SP \times QT}{ST}$ ,

sive ut  $ST$  reciproce &  $SP \times QT$  directe; estque  $SP \times QT$  ut area dato tempore descripta, id est (per prop. XIV.) in subduplicata ratione lateris recti. *Q. E. D.*

*Corol.* 1. Latera recta principalia sunt in ratione composita ex duplicata ratione perpendicularorum, & duplicata ratione velocitatum.

*Corol.*



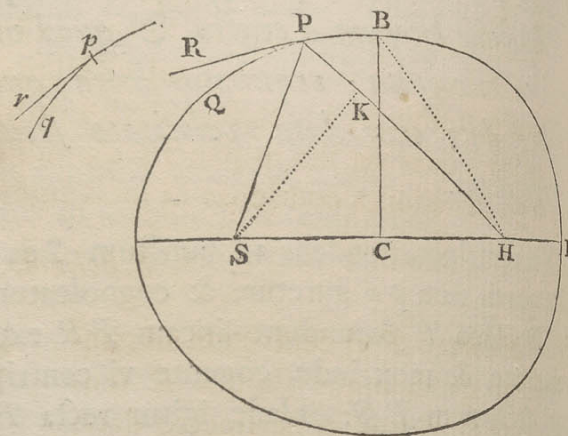




DE MOTU  
CORPORUM

mentum ad duos rectos fiat angulus  $RPH$ ; & dabitur positio lineæ  $PH$ , in qua umbilicus alter  $H$  locatur. Demisso ad  $PH$  perpendiculari  $SK$ , erigi intelligatur semiaxis conjugatus  $BC$ , & erit  $SPq - 2KPH + PHq = SHq = 4CHq = 4BHq - 4BCq = SP + PH$ : quad. —  $L \times SP + PH = SPq + 2SPH + PHq - L \times SP + PH$ . Addantur utrobique  $2KPH - SPq - PHq + L \times SP + PH$ , & fiet  $L \times SP + PH = 2SPH + 2KPH$ , seu  $SP + PH$  ad  $PH$  ut  $2SP + 2KP$  ad  $L$ . Unde datur  $PH$  longitudine quam positione. Nimirum si ea sit corporis in  $P$  velocitas, ut latus rectum  $L$  minus fuerit quam  $2SP + 2KP$ , jacebit  $PH$  ad eandem partem tangentis  $PR$  cum linea  $PS$ ; ideoque figura erit ellipsis, & ex datis umbilicis  $S$ ,  $H$ , & axe principali  $SP + AH$ , dabitur. Sin tanta sit corporis velocitas, ut latus rectum  $L$  æquale fuerit  $2SP + 2KP$ , longitudo  $PH$  infinita erit; & propterea figura erit parabola axem habens  $SH$  parallelum lineæ  $PK$ , & inde dabitur. Quod si corpus majori adhuc cum velocitate de loco suo  $P$  exeat, capienda erit longitudo  $PH$  ad alteram partem tangentis; ideoque tangente inter umbilicos pergente, figura erit hyperbola axem habens principalem æqualem differentie linearum  $SP$  &  $PH$ , & inde dabitur. Nam si corpus in his casibus revolvatur in conica sectione sic inventa, demonstratum est in prop. xi, xii, & xiii, quod vis centripeta erit ut quadratum distantie corporis a centro virium  $S$  reciproce; ideoque linea  $PQ$  recte exhibetur, quam corpus tali vi describet, de loco dato  $P$ , cum data velocitate, secundum rectam positione datam  $PR$  egrediens. *Q.E.F.*

*Corol. 1.* Hinc in omni coni sectione ex dato vertice principali  $D$ , latere recto  $L$ , & umbilico  $S$ , datur umbilicus alter  $H$  capiendū  $DH$  ad  $DS$  ut est latus rectum ad differentiam inter latus rectum &  $4DS$ . Nam proportio  $SP + PH$  ad  $PH$  ut  $2SP + 2KP$  ad  $L$  in

LIBER  
PRIMUS.

in casu hujus corollarii, fit  $DS + DH$  ad  $DH$  ut  $4DS$  ad  $L$ , & divisum  $DS$  ad  $DH$  ut  $4DS - L$  ad  $L$ .

*Corol. 2.* Unde si datur corporis velocitas in vertice principali  $D$ , invenietur orbita expedite, capiendū scilicet latus rectum ejus ad duplam distantiam  $DS$ , in duplicata ratione velocitatis hujus datæ ad velocitatem corporis in circulo ad distantiam  $DS$  gyrantis (per corol. 3. prop. xvi.); deinde  $DH$  ad  $DS$  ut latus rectum ad differentiam inter latus rectum &  $4DS$ .

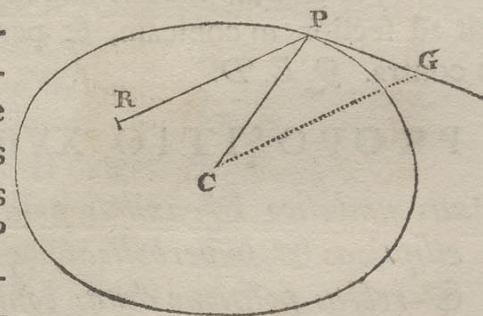
*Corol. 3.* Hinc etiam si corpus moveatur in sectione quacunque conica, & ex orbe suo impulsu quocunque exturbetur; cognosci potest orbis, in quo postea cursum suum peraget. Nam componendo proprium corporis motum cum motu illo, quem impulsus solus generaret, habebitur motus quocum corpus de dato impulsu loco, secundum rectam positione datam, exibat.

*Corol. 4.* Et si corpus illud vi aliqua extrinsecus impressa continuo perturbetur, innotescet cursus quam proxime, colligendo mutationes quas vis illa in punctis quibusdam inducit, & ex seriei analogia mutationes continuas in locis intermediis æstimando.

*Scholium.*

Si corpus  $P$  vi centripeta ad punctum quodcumque datum  $R$  tendente moveatur in perimetro datæ cujuscunque sectionis conicæ, cujus centrum sit  $C$ ; & requiratur lex vis centripetæ: ducatur  $CG$  radio  $RP$  parallela, & orbis tangenti  $PG$  occurrens in  $G$ ; & vis illa (per corol. 1. & schol. prop. x. & corol. 3.

prop. vii.) erit ut  $\frac{CG \text{ cub.}}{RP \text{ quad.}}$



K

SEC.



## SECTIO IV.

*De inventione orbium ellipticorum, parabolicorum & hyperbolicorum ex umbilico dato.*

## LEMMA XV.

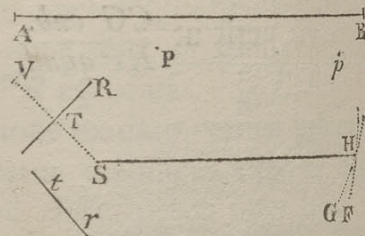
*Si ab ellipse vel hyperbolæ cujuscunque umbilicis duobus S, H, ad punctum quodvis tertium V insistantur rectæ duæ SV, HV, quarum una HV æqualis sit axi principali figuræ, id est, axi in quo umbilici jacent, altera SV a perpendicularo TR in se demisso bisecetur in T; perpendicularum illud TR sectionem conicam alicubi tanget: & contra, si tangit, erit HV æqualis axi principali figuræ.*

Secet enim perpendicularum TR rectam HV productam, si opus fuerit, in R; & jungatur SR. Ob æquales TS, TV, æquales erunt & rectæ SR, VR & anguli TRS, TRV. Unde punctum R erit ad sectionem conicam, & perpendicularum TR tanget eandem: & contra. Q. E. D.

## PROPOSITIO XVIII. PROBLEMA X.

*Datis umbilico & axibus principalibus describere trajectorias ellipticas & hyperbolicas, quæ transibunt per puncta data, & rectas positione datas contingent.*

Sit S communis umbilicus figurarum; AB longitudo axis principalis trajectoriæ cujuscunque; P punctum per quod trajectoria debet transire; & TR recta quam debet tangere. Centro P intervallo AB—SP, si orbita sit ellipsis, vel AB+SP, si ea sit hyperbola, describatur circulus HG. Ad tangentem TR demittatur perpendicularum ST, & producat idem ad V, ut fit TV æqualis ST; centroque

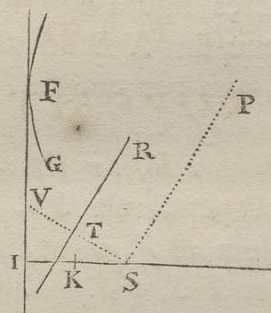


que V & intervallo AB describatur circulus FH. Hac methodo five dentur duo puncta P, p, five duæ tangentes TR, tr, five punctum P & tangens TR, describendi sunt circuli duo. Sit H eorum intersectio communis, & umbilicis S, H, axe illo dato describatur trajectoria. Dico factum. Nam trajectoria descripta (eo quod PH + SP in ellipsi, & PH—SP in hyperbola æquatur axi) transibit per punctum P, & (per lemma superius) tanget rectam TR. Et eodem argumento vel transibit eadem per puncta duo P, p, vel tanget rectas duas TR, tr. Q. E. F.

## PROPOSITIO XIX. PROBLEMA XI.

*Circa datum umbilicum trajectoriam parabolicam describere, quæ transibit per puncta data, & rectas positione datas continget.*

Sit S umbilicus, P punctum & TR tangens trajectoriæ describendæ. Centro P, intervallo PS describe circulum FG. Ab umbilico ad tangentem demitte perpendicularem ST, & produc eam ad V, ut fit TV æqualis ST. Eodem modo describendus est alter circulus fg, si datur alterum punctum p; vel inveniendum alterum punctum v, si datur altera tangens tr; dein ducenda recta IF quæ tangat duos circulos FG, fg si dantur duo puncta P, p, vel transeat per duo puncta V, v, si dantur duæ tangentes TR, tr, vel tangat circulum FG & transeat per punctum V, si datur punctum P & tangens TR. Ad FI demitte perpendicularem SI, eamque biseca in K; & axe SK, vertice principali K describatur parabola. Dico factum. Nam parabola, ob æquales SK & IK, SP & FP, transibit per punctum P; & (per lem. xiv. corol. 3.) ob æquales ST & TV & angulum rectum STR, tanget rectam TR. Q. E. F.



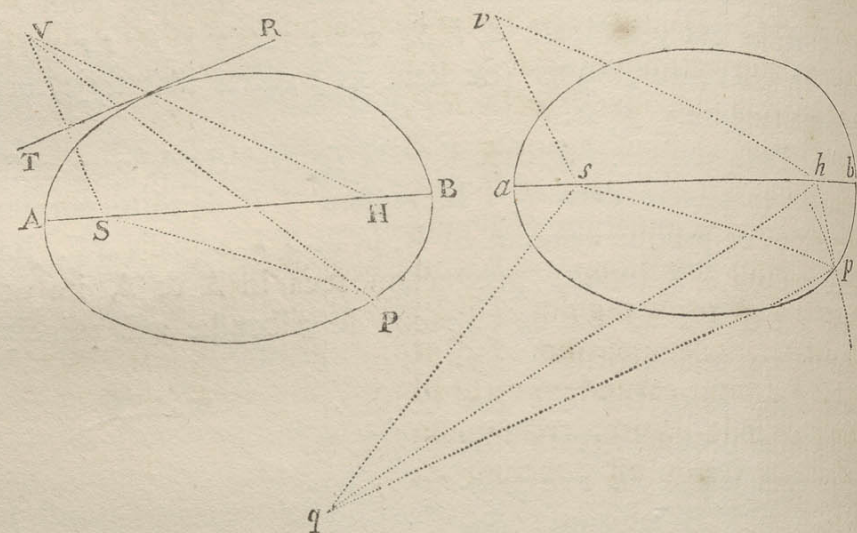






DE MOTU  
CORPORUM

$SP$  ad  $sp$ , quæque angulum  $PSH$  angulo  $psb$  & angulum  $VSH$  angulo  $psq$  æquales constituat. Denique umbilicis  $S, H$ , & axe principali  $AB$  distantiam  $VH$  æquante, describatur sectio conica. Dico factum. Nam si agatur  $sv$  quæ sit ad  $sp$  ut est  $sb$  ad  $sq$ , quæque constituat angulum  $vsp$  angulo  $hsq$  & angulum  $vsh$  angulo  $psq$  æquales, triangula  $svh$ ,  $spq$  erunt similia, & propterea  $vh$  erit ad  $pq$  ut est  $sb$  ad  $sq$ , id est (ob similia triangula  $VSP$ ,  $hsq$ ) ut est  $VS$  ad  $SP$  seu  $ab$  ad  $pq$ . Æquantur ergo  $vh$  &  $ab$ .



Porro ob similia triangula  $VSH$ ,  $vsh$ , est  $VH$  ad  $SH$  ut  $vb$  ad  $sb$ , id est, axis conicæ sectionis jam descriptæ ad illius umbilicorum intervallum, ut axis  $ab$  ad umbilicorum intervallum  $sb$ ; & propterea figura jam descripta similis est figuræ  $apb$ . Transsit autem hæc figura per punctum  $P$ , eo quod triangulum  $PSH$  simile sit triangulo  $psb$ ; & quia  $VH$  æquatur ipsius axi &  $VS$  bisecatur perpendiculariter a recta  $TR$ , tangit eadem rectam  $TR$ . *Q. E. F.*

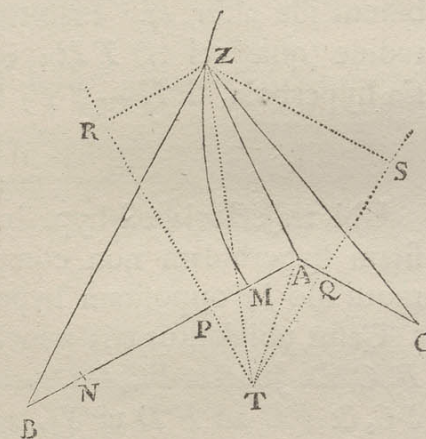
## L E M M A XVI.

*A datis tribus punctis ad quartum non datum insicere tres rectas quarum differentia vel dantur vel nulle sunt.*

*Cas. 1.* Sunt puncta illa data  $A, B, C$  & punctum quartum  $Z$ , quod invenire oportet; ob datam differentiam linearum  $AZ, BZ$ , locabitur

LIBER  
PRIMUS.

locabitur punctum  $Z$  in hyperbola cujus umbilici sunt  $A$  &  $B$ , & principalis axis differentia illa data. Sit axis ille  $MN$ . Cape  $PM$  ad  $MA$  ut est  $MN$  ad  $AB$ , & erecta  $PR$  perpendiculari ad  $AB$ , demissaque  $ZR$  perpendiculari ad  $PR$ ; erit, ex natura hujus hyperbolæ,  $ZR$  ad  $AZ$  ut est  $MN$  ad  $AB$ . Simili discursu punctum  $Z$  locabitur in alia hyperbola, cujus umbilici sunt  $A, C$  & principalis axis differentia inter  $AZ$  &  $CZ$ , ducique potest  $QS$  ipsi  $AC$  perpendicularis, ad quam si ab hyperbolæ hujus puncto quovis  $Z$  demittatur normalis  $ZS$ , hæc fuerit ad  $AZ$  ut est differentia inter  $AZ$  &  $CZ$  ad  $AC$ . Dantur ergo rationes ipsarum  $ZR$  &  $ZS$  ad  $AZ$ , & idcirco datur earundem  $ZR$  &  $ZS$  ratio ad invicem; ideoque si rectæ  $RP$ ,  $SQ$  concurrant in  $T$ , & agantur  $TZ$  &  $TA$ , figura  $TRZS$  dabitur specie, & recta  $TZ$  in qua punctum  $Z$  alicubi locatur, dabitur positione. Dabitur etiam recta  $TA$ , ut & angulus  $ATZ$ ; & ob datas rationes ipsarum  $AZ$  ac  $TZ$  ad  $ZS$  dabitur earundem ratio ad invicem; & inde dabitur triangulum  $ATZ$ , cujus vertex est punctum  $Z$ . *Q. E. I.*



*Cas. 2.* Si duæ ex tribus lineis, puta  $AZ$  &  $BZ$ , æquantur, ita age rectam  $TZ$ , ut bisecet rectam  $AB$ ; dein quære triangulum  $ATZ$  ut supra.

*Cas. 3.* Si omnes tres æquantur, locabitur punctum  $Z$  in centro circuli per puncta  $A, B, C$  transeuntis. *Q. E. I.*

Solvitur etiam hoc lemma problematicum per librum tactionum *Apollonii* a *Vieta* restitutum.

## PROPOSITIO XXI. PROBLEMA XIII.

*Trajectoriam circa datum umbilicum describere, quæ transibit per puncta data & rectas positione datas continget.*

Detur umbilicus  $S$ , punctum  $P$ , & tangens  $TR$ , & inveniendus sit umbilicus alter  $H$ . Ad tangentem demitte perpendicularum  $ST$ , & pro-



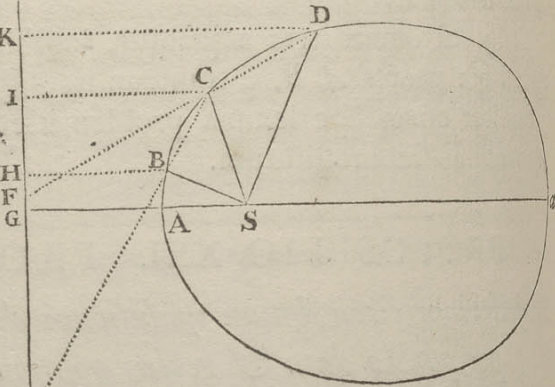
DE MOTU  
CORPORUM

produc idem ad  $T$ , ut sit  $TT$  æqualis  $ST$ , & erit  $TH$  æqualis axi principali. Junge  $SP$ ,  $HP$ , & erit  $SP$  differentia inter  $HP$  & axem principalem. Hoc modo si dentur plures tangentes  $TR$ , vel plura puncta  $P$ , devenietur semper ad lineas totidem  $TH$ , vel  $PH$ , a dictis punctis  $T$  vel  $P$  ad umbilicum  $H$ . Y  
ductas, quæ vel æquantur axibus, vel datis longitudinibus  $SP$  differunt ab iisdem, atque ideo quæ vel æquantur sibi invicem, vel datas habent differentias; & inde, per lemma superius, datur umbilicus ille alter  $H$ . Habitis autem umbilicis una cum axis longitudine (quæ vel est  $TH$ ; vel, si trajectory ellipsis est,  $PH+SP$ ; sin hyperbola,  $PH-SP$ ) habetur trajectory. Q. E. I.

## Scholium.

Ubi trajectory est hyperbola, sub nomine hujus trajectory oppositam hyperbolam non comprehendo. Corpus enim pergendo in motu suo in oppositam hyperbolam transire non potest.

Casus ubi dantur tria puncta sic solvitur expeditius. Dentur puncta  $B, C, D$ . Junctas  $BC, CD$  produc ad  $E, F$ , ut sit  $EB$  ad  $EC$  ut  $SB$  ad  $SC$ , &  $FC$  ad  $FD$  ut  $SC$  ad  $SD$ . Ad  $EF$  ductam & productam demitte normales  $SG, BH$ , inque  $GS$  infinite producta cape  $GA$  ad  $AS$  &  $G$  ad  $a$  ut est  $HB$  ad  $BS$ ; & erit  $A$  vertex, &  $Aa$  axis principalis trajectory: quæ, perinde ut  $GA$  major, æqualis, vel minor fuerit quam  $AS$ , erit ellipsis, parabola vel hyperbola; puncto  $a$  in primo casu cadente ad eandem partem lineæ  $GF$  cum puncto  $A$ ; in secundo casu abeunte in infinitum; in tertio cadente ad contrariam partem lineæ  $GF$ . Nam si demittantur ad  $GF$  perpendiculara  $CI, DK$ ; erit  $IC$  ad  $HB$  ut  $EC$  ad  $EB$ , hoc est, ut  $SC$  ad  $SB$ ; & vicissim  $IC$  ad  $SC$  ut  $HB$  ad  $SB$  five ut  $GA$  ad  $SA$ . Et

LIBER  
PRIMUS.

Et simili argumento probabitur esse  $KD$  ad  $SD$  in eadem ratione. Jacent ergo puncta  $B, C, D$  in conicæ sectione circa umbilicum  $S$  ita descripta, ut rectæ omnes, ab umbilico  $S$  ad singula sectionis puncta ductæ, sint ad perpendiculara a punctis iisdem ad rectam  $GF$  demissæ in data illa ratione.

Methodo haud multum dissimili hujus problematis solutionem tradit clarissimus geometra de la Hire, conicorum suorum lib. VIII. prop. xxv.

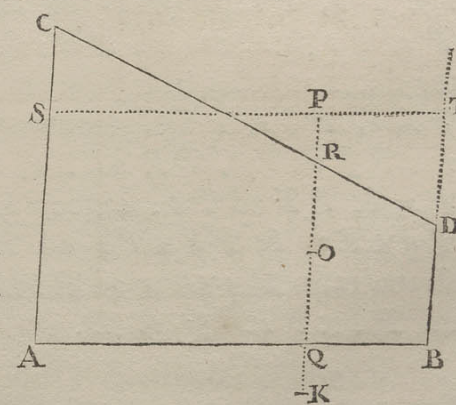
## SECTIO V.

Inventio orbium ubi umbilicus neuter datur.

## LEMMA XVII.

Si a datæ conicæ sectionis puncto quovis  $P$  ad trapezii aliqujus  $ABDC$ , in conica illa sectione inscripti, latera quatuor infinite producta  $AB, CD, AC, DB$  totidem rectæ  $PQ, PR, PS, PT$  in datis angulis ducantur, singulæ ad singula: rectangulum ductarum ad opposita duo latera  $PQ \times PR$ , erit ad rectangulum ductarum ad alia duo latera opposita  $PS \times PT$  in data ratione.

Cas. 1. Ponamus primo lineas ad opposita latera ductas parallelas esse alterutri reliquorum laterum, puta  $PQ$  &  $PR$  lateri  $AC$ , &  $PS$  ac  $PT$  lateri  $AB$ . Sintque insuper latera duo ex oppositis, puta  $AC$  &  $BD$ , sibi invicem parallela. Et recta, quæ bisecat parallela illa latera, erit una ex diametris conicæ sectionis, & bisecabit etiam  $RQ$ . Sit  $O$  punctum in quo  $RQ$  bisecatur, & erit  $PO$  ordinatim applicata ad diametrum illam. Produc  $PO$  ad  $K$ , ut sit  $OK$  æqualis  $PO$ , & erit  $OK$  ordinatim applicata ad contrarias partes diametri. Cum igitur puncta  $A, B, P$  &  $K$  sint ad conicam sectionem, &  $PK$  secet  $AB$  in dato angulo, erit (per prop. 17, 19, 21 & 23. lib. III. conicorum



corum

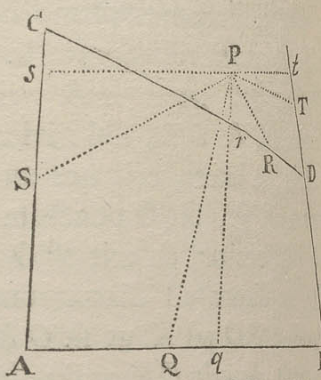


DE MOTU  
CORPORUM

corum Apollonii) rectangulum  $PQK$  ad rectangulum  $AQB$  in data ratione. Sed  $QK$  &  $PR$  æquales sunt, utpote æqualium  $OK$ ,  $OP$ , &  $OQ$ ,  $OR$  differentia, & inde etiam rectangula  $PQK$  &  $PQ \times PR$  æqualia sunt; atque ideo rectangulum  $PQ \times PR$  est ad rectangulum  $AQB$ , hoc est ad rectangulum  $PS \times PT$  in data ratione.  $Q. E. D.$

Cas. 2. Ponamus jam trapezii latera opposita  $AC$  &  $BD$  non esse parallela. Age  $Bd$  parallelam  $AC$  & occurrentem tum rectæ  $ST$  in  $t$ , tum conicæ sectioni in  $d$ . Junge  $Cd$  secantem  $PQ$  in  $r$ , & ipsi  $PQ$  parallelam age  $DM$  secantem  $Cd$  in  $M$  &  $AB$  in  $N$ . Jam ob similia triangula  $BTt$ ,  $DBN$ ; est  $Bt$  seu  $PQ$  ad  $Tt$  ut  $DN$  ad  $NB$ . Sic &  $Rr$  est ad  $AQ$  seu  $PS$  ut  $DM$  ad  $AN$ . Ergo, ducendo antecedentes in consequentes, ut rectangulum  $PQ$  in  $Rr$  est ad rectangulum  $PS$  in  $Tt$ , ita rectangulum  $NDM$  est ad rectangulum  $ANB$ , & (per cal. 1.) ita rectangulum  $PQ$  in  $Pr$  est ad rectangulum  $PS$  in  $Pt$ , ac divisim ita rectangulum  $PQ \times PR$  est ad rectangulum  $PS \times PT$ .  $Q. E. D.$

Cas. 3. Ponamus denique lineas quatuor  $PQ$ ,  $PR$ ,  $PS$ ,  $PT$  non esse parallelas lateribus  $AC$ ,  $AB$ , sed ad ea utcumque inclinatas. Earum vice age  $Pq$ ,  $Pr$  parallelas ipsi  $AC$ ; &  $Ps$ ,  $Pt$  parallelas ipsi  $AB$ ; & propter datos angulos triangulorum  $PQq$ ,  $PRr$ ,  $PSs$ ,  $PTt$ , dabuntur rationes  $PQ$  ad  $Pq$ ,  $PR$  ad  $Pr$ ,  $PS$  ad  $Ps$ , &  $PT$  ad  $Pt$ ; atque ideo rationes compositæ  $PQ \times PR$  ad  $Pq \times Pr$ , &  $PS \times PT$  ad  $Ps \times Pt$ . Sed, per superius demonstrata, ratio  $Pq \times Pr$  ad  $Ps \times Pt$  data est: ergo & ratio  $PQ \times PR$  ad  $PS \times PT$ .  $Q. E. D.$



LEMMA

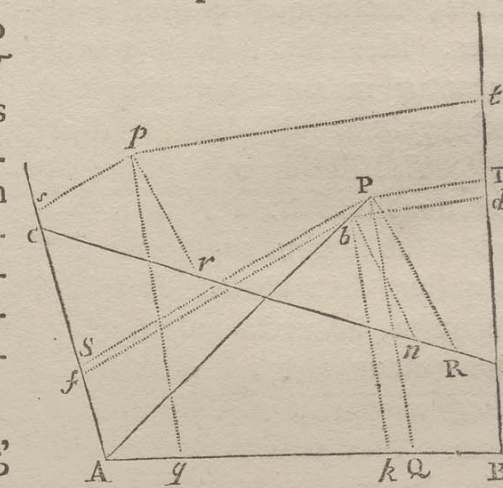
LIBER  
PRIMUS.

## LEMMA XVIII.

Isdem positis, si rectangulum ductarum ad opposita duo latera trapezii  $PQ \times PR$  sit ad rectangulum ductarum ad reliqua duo latera  $PS \times PT$  in data ratione; punctum  $P$ , a quo lineæ ducuntur, tanget conicam sectionem circa trapezium descriptam.

Per puncta  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  & aliquod infinitorum punctorum  $P$ , puta  $p$ , concipe conicam sectionem describi: dico punctum  $P$  hanc semper tangere. Si negas, junge  $AP$  secantem hanc conicam sectionem alibi quam in  $P$ , si fieri potest, puta in  $b$ . Ergo si ab his punctis  $p$  &  $b$  ducantur in datis angulis ad latera trapezii rectæ  $pq$ ,  $pr$ ,  $ps$ ,  $pt$  &  $bk$ ,  $bn$ ,  $bs$ ,  $bd$ ; erit ut  $bk \times bn$  ad  $bs \times bd$  ita (per lem. xvii.)  $pq \times pr$  ad  $ps \times pt$ , & ita (per hypoth.)  $PQ \times PR$  ad  $PS \times PT$ . Est & propter similitudinem trapeziorum  $bka$ ,  $PQAS$ , ut  $bk$  ad  $bs$  ita  $PQ$  ad  $PS$ . Quare, applicando terminos prioris proportionis ad terminos correspondentes hujus, erit  $bn$  ad  $bd$  ut  $PR$  ad  $PT$ . Ergo trapezia æquiangularia  $Dnbd$ ,  $DRPT$  similia sunt, & eorum diagonales  $Db$ ,  $DP$  propterea coincidunt. Incidit itaque  $b$  in intersectionem rectarum  $AP$ ,  $DP$  ideoque coincidit cum puncto  $P$ . Quare punctum  $P$ , ubicunque sumatur, incidit in assignatam conicam sectionem.  $Q. E. D.$

Corol. Hinc si rectæ tres  $PQ$ ,  $PR$ ,  $PS$  a puncto communi  $P$  ad alias totidem positione datas rectas  $AB$ ,  $CD$ ,  $AC$ , singulæ ad singulas, in datis angulis ducantur, sitque rectangulum sub duabus ductis  $PQ \times PR$  ad quadratum tertiæ  $PS$  in data ratione: punctum  $P$ , a quibus rectæ ducuntur, locabitur in sectione conica quæ tangit lineas  $AB$ ,  $CD$  in  $A$  &  $C$ ; & contra. Nam coeat linea  $BD$  cum



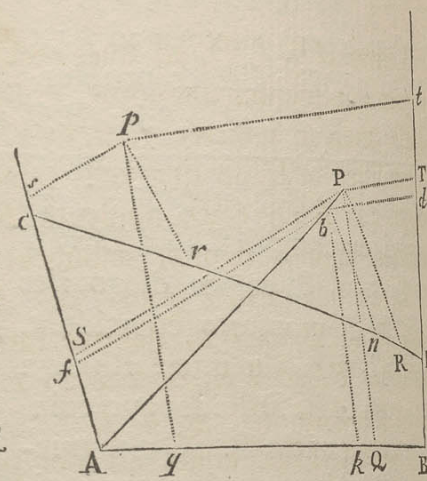


DE MOTU  
CORPORUM

$BD$  cum linea  $AC$ , manente positione trium  $AB, CD, AC$ ; deinceps etiam linea  $PT$  cum linea  $PS$ : & rectangulum  $PS \times PT$  evadet  $PS$  quad. rectæque  $AB, CD$ , quæ curvam in punctis  $A$  &  $B, C$  &  $D$  secabant, jam curvam in punctis illis coeuntibus non amplius secare possunt, sed tantum tangent.

Scholium.

Nomen conicæ sectionis in hoc lemmate late sumitur, ita ut sectio tam rectilinea per verticem conï transiens, quam circularis basi parallela includatur. Nam si punctum  $p$  incidit in rectam, qua puncta  $A$  &  $D$  vel  $C$  &  $B$  junguntur, conica sectio vertetur in geminas rectas, quarum una est recta illa in quam punctum  $p$  incidit, & altera est recta qua alia duo ex punctis quatuor junguntur. Si trapezii anguli duo oppositi simul sumpti æquantur duobus rectis, & lineæ quatuor  $PQ, PR, PS, PT$  ducantur ad latera ejus vel perpendiculariter vel in angulis quibuscumque æqualibus, sitque rectangulum sub duabus ductis  $PQ \times PR$  æquale rectangulo sub duabus aliis  $PS \times PT$ , sectio conica evadet circulus. Idem fiet, si lineæ quatuor ducantur in angulis quibuscumque, & rectangulum sub duabus ductis  $PQ \times PR$  sit ad rectangulum sub aliis duabus  $PS \times PT$  ut rectangulum sub sinibus angulorum  $S, T$ , in quibus duæ ultimæ  $PS, PT$  ducuntur, ad rectangulum sub sinibus angulorum  $Q, R$ , in quibus duæ primæ  $PQ, PR$  ducuntur. Cæteris in casibus locus puncti  $P$  erit aliqua trium figurarum, quæ vulgo nominantur sectiones conicæ. Vice autem trapezii  $ABCD$  substitui potest quadrilaterum, cujus latera duo opposita se mutuo instar diagonalium decussant. Sed & e punctis quatuor  $A, B, C, D$  possunt unum vel duo abire ad infinitum, eoque pacto latera figuræ, quæ ad puncta illa convergunt, evadere parallela: quo in casu sectio conica transibit per cætera puncta, & in plagas parallelarum abibit in infinitum.

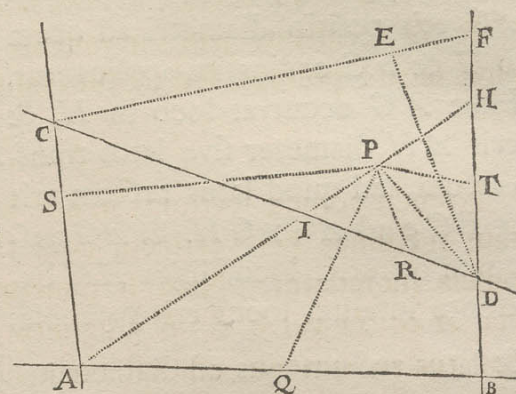


LEMMA

LIBER  
PRIMUS.

## L E M M A XIX.

Invenire punctum  $P$ , a quo si rectæ quatuor  $PQ, PR, PS, PT$  ad alias totidem positione datas rectas  $AB, CD, AC, BD$ , singulæ ad singulas, in datis angulis ducantur, rectangulum sub duabus ductis,  $PQ \times PR$ , sit ad rectangulum sub aliis duabus,  $PS \times PT$ , in data ratione.



Lineæ  $AB, CD$ , ad quas rectæ duæ  $PQ, PR$  unum rectangulorum continentes ducuntur, convenient cum aliis duabus positione datis lineis in punctis  $A, B, C, D$ . Ab eorum aliquo  $A$  age rectam quamlibet  $AH$ , in qua velis punctum  $P$  reperiri. Secet ea lineas oppositas  $BD, CD$ , nimirum  $BD$  in  $H$  &  $CD$  in  $I$ , & ob datos omnes angulos figuræ, dabuntur rationes  $PQ$  ad  $PA$  &  $PA$  ad  $PS$ , ideoque ratio  $PQ$  ad  $PS$ . Auferendo hanc a data ratione  $PQ \times PR$  ad  $PS \times PT$ , dabitur ratio  $PR$  ad  $PT$ , & addendo datas rationes  $PI$  ad  $PR$ , &  $PT$  ad  $PH$  dabitur ratio  $PI$  ad  $PH$ , atque ideo punctum  $P$ .  $Q. E. I.$

Corol. 1. Hinc etiam ad loci punctorum infinitorum  $P$  punctum quodvis  $D$  tangens duci potest. Nam chorda  $PD$ , ubi puncta  $P$  ac  $D$  conveniunt, hoc est, ubi  $AH$  ducitur per punctum  $D$ , tangens evadit. Quo in casu, ultima ratio evanescentium  $IP$  &  $PH$  invenietur ut supra. Ipsi igitur  $AD$  duc parallelam  $CF$ , occurrentem  $BD$  in  $F$ , & in ea ultima ratione sectam in  $E$ , &  $DE$  tangens erit, propterea quod  $CF$  & evanescens  $IH$  parallelæ sunt, & in  $E$  &  $P$  similiter sectæ.

Corol. 2. Hinc etiam locus punctorum omnium  $P$  definiri potest. Per quodvis punctorum  $A, B, C, D$ , puta  $A$ , duc loci tangentem  $AE$ , & per aliud quodvis punctum  $B$  duc tangenti parallelam  $BF$  occurren-



DE MOTU  
CORPORUM

occurrentem loco in  $F$ . Invenietur autem punctum  $F$  per lem. XIX. Bifeca  $BF$  in  $G$ , & acta indefinita  $AG$  erit positio diametri ad quam  $BG$  &  $FG$  ordinatim applicantur. Hæc  $AG$  occurrat loco in  $H$ , & erit  $AH$  diameter five latus transversum, ad quod latus rectum erit ut  $BGq$  ad  $AG \times GH$ . Si  $AG$  nusquam occurrit loco, linea  $AH$  existente infinita, locus erit parabola,

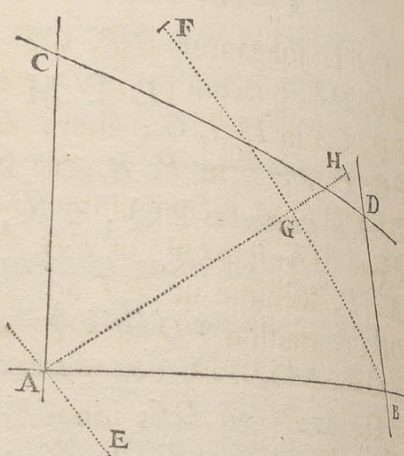
& latus rectum ejus ad diametrum  $AG$  pertinens erit  $\frac{BGq}{AG}$ . Sin ea alicubi occurrit, locus hyperbola erit, ubi puncta  $A$  &  $H$  sita sunt ad easdem partes ipsius  $G$ : & ellipsis, ubi  $G$  intermedium est, nisi forte angulus  $AGB$  rectus sit, & insuper  $BG$  quad. æquale rectangulo  $AGH$ , quo in casu circulus habebitur.

Atque ita problematis veterum de quatuor lineis ab *Euclide* incepti & ab *Apollonio* continuati non calculus, sed compositio geometrica, qualem veteres quærebant, in hoc corollario exhibetur.

## L E M M A XX.

Si parallelogrammum quodvis  $ASPQ$  angulis duobus oppositis  $A$  &  $P$  tangit sectionem quamvis conicam in punctis  $A$  &  $P$ ; & lateribus unius angulorum illorum infinite productis  $AQ$ ,  $AS$  occurrit eidem sectioni conicæ in  $B$  &  $C$ ; a punctis autem occursum  $B$  &  $C$  ad quintum quodvis sectionis conicæ punctum  $D$  agantur rectæ duæ  $BD$ ,  $CD$  occurrentes alteris duobus infinite productis parallelogrammi lateribus  $PS$ ,  $PQ$  in  $T$  &  $R$ : erunt semper abscissæ laterum partes  $PR$  &  $PT$  ad invicem in data ratione. Et contra, si partes illæ abscissæ sunt ad invicem in data ratione, punctum  $D$  tanget sectionem conicam per puncta quatuor  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $P$  transeuntem.

Cas.

LIBER  
PRIMUS.

Cas. 1. Jungantur  $BP$ ,  $CP$  & a puncto  $D$  agantur rectæ duæ  $DG$ ,  $DE$ , quarum prior  $DG$  ipsi  $AB$  parallela sit & occurrat  $PB$ ,  $PQ$ ,  $CA$  in  $H$ ,  $I$ ,  $G$ ; altera  $DE$  parallela sit ipsi  $AC$  & occurrat  $PC$ ,  $PS$ ,  $AB$  in  $F$ ,  $K$ ,  $E$ : & erit (per lem. XVII.) rectangulum  $DE \times DF$  ad rectangulum  $DG \times DH$  in ratione data. Sed est  $PQ$  ad  $DE$  (seu  $IQ$ ) ut  $PB$

ad  $HB$ , ideoque ut  $PT$  ad  $DH$ ; & vicissim  $PQ$  ad  $PT$  ut  $DE$  ad  $DH$ . Est &  $PR$  ad  $DF$  ut  $RC$  ad  $DC$ , ideoque ut  $(IG \text{ vel } )PS$  ad  $DG$ , & vicissim  $PR$  ad  $PS$  ut  $DF$  ad  $DG$ ; & conjunctis rationibus fit rectangulum  $PQ \times PR$  ad rectangulum  $PS \times PT$  ut rectangulum  $DE \times DF$  ad rectangulum  $DG \times DH$ , atque ideo in data ratione. Sed dantur  $PQ$  &  $PS$ , & propterea ratio  $PR$  ad  $PT$  datur. Q. E. D.

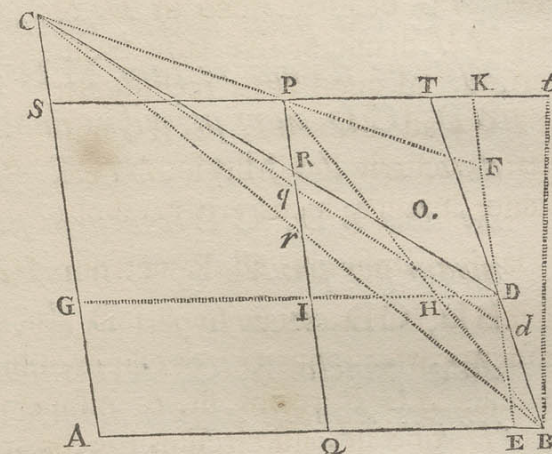
Cas. 2. Quod si  $PR$  &  $PT$  ponantur in data ratione ad invicem, tum simili ratiocinio regrediendo, sequetur esse rectangulum  $DE \times DF$  ad rectangulum  $DG \times DH$  in ratione data, ideoque punctum  $D$  (per lem. XVIII.) contingere conicam sectionem transeuntem per puncta  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $P$ . Q. E. D.

Corol. 1. Hinc si agatur  $BC$  secans  $PQ$  in  $r$ , & in  $PT$  capiatur  $Pt$  in ratione ad  $Pr$  quam habet  $PT$  ad  $PR$ : erit  $Bt$  tangens conicæ sectionis ad punctum  $B$ . Nam concipe punctum  $D$  coire cum puncto  $B$ , ita ut, chorda  $BD$  evanescente,  $BT$  tangens evadat; &  $CD$  ac  $BT$  coincident cum  $CB$  &  $Bt$ .

Corol. 2. Et vice versa si  $Bt$  sit tangens, & ad quodvis conicæ sectionis punctum  $D$  convenient  $BD$ ,  $CD$ ; erit  $PR$  ad  $PT$  ut  $Pr$  ad  $Pt$ . Et contra, si sit  $PR$  ad  $PT$  ut  $Pr$  ad  $Pt$ : convenient,  $BD$ ,  $CD$  ad conicæ sectionis punctum aliquod  $D$ .

Corol. 3. Conica sectio non secat conicam sectionem in punctis pluribus quam quatuor. Nam, si fieri potest, transeant duæ conicæ sectiones per quinque puncta  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $P$ ,  $O$ ; easque secet recta  $BD$  in punctis  $D$ ,  $d$ , & ipsam  $PQ$  secet recta  $Cd$  in  $q$ . Ergo  $PR$  est ad

PT



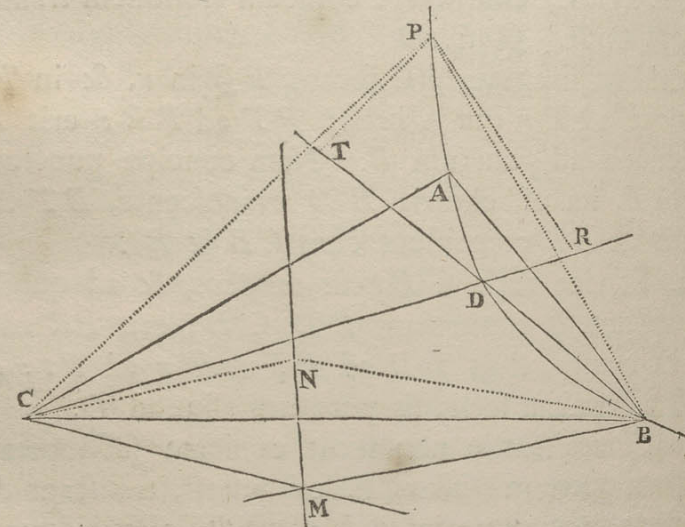


80 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
DE MOTU  
CORPORUM *PT* ut *Pq* ad *PT*; unde *PR* & *Pq* sibi invicem æquantur, contra  
hypothesin.

LEMMA XXI.

*Si rectæ duæ mobiles & infinitæ BM, CM per data puncta B, C seu polos ductæ, concursu suo M describant tertiam positione datam rectam MN; & aliæ duæ infinitæ rectæ BD, CD cum prioribus duabus ad puncta illa data B, C datos angulos MBD, MCD efficientes ducantur: dico quod hæ duæ BD, CD concursu suo D describent sectionem conicam per puncta B, C transeuntem. Et vice versa, si rectæ BD, CD concursu suo D describant sectionem conicam per data puncta B, C, A transeuntem, & sit angulus DBM semper æqualis angulo dato ABC, angulusque DCM semper æqualis angulo dato ACB: punctum M continebitur rectam positione datam.*

Nam in recta *MN* detur punctum *N*, & ubi punctum mobile *M* incidit in immotum *N*, incidat punctum mobile *D* in immotum *P*.

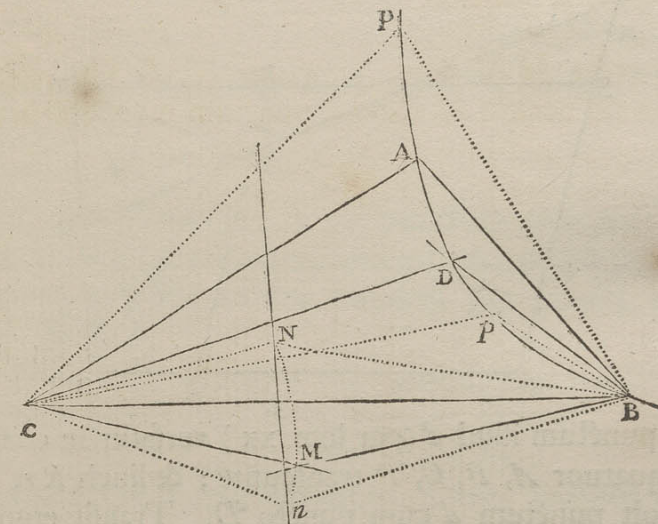


Junge *CN*, *BN*, *CP*, *BP*, & a puncto *P* age rectas *PT*, *PR* occurrentes ipsis *BD*, *CD* in *T* & *R*, & facientes angulum *BPT* æqualem

PRINCIPIA MATHEMATICA. 81

LIBER PRIMUS.  
æqualem angulo dato *BNM*, & angulum *CPR* æqualem angulo dato *CNM*. Cum ergo (ex hypothesi) æquales sint anguli *MBD*, *NBP*, ut & anguli *MCD*, *NCP*; aufer communes *NBD* & *NCD*, & restabunt æquales *NBM* & *PBT*, *NCM* & *PCR*: ideoque triangula *NBM*, *PBT* similia sunt, ut & triangula *NCM*, *PCR*. Quare *PT* est ad *NM* ut *PB* ad *NB*, & *PR* ad *NM* ut *PC* ad *NC*. Sunt autem puncta *B*, *C*, *N*, *P* immobilia. Ergo *PT* & *PR* datam habent rationem ad *NM*, proindeque datam rationem inter se; atque ideo (per lem. xx.) punctum *D*, perpetuus rectarum mobilium *BT* & *CR* concursus, contingit sectionem conicam, per puncta *B*, *C*, *P* transeuntem. Q. E. D.

Et contra, si punctum mobile *D* contingat sectionem conicam transeuntem per data puncta *B*, *C*, *A*, & sit angulus *DBM* semper æqualis angulo dato *ABC*, & angulus *DCM* semper æqualis angulo dato *ACB*, & ubi punctum *D* incidit successive in duo quavis sectionis puncta immobilia *p*, *P*, punctum mobile *M* incidat successive in puncta duo immobilia *n*, *N*: per eadem *n*, *N* agatur



recta *nN*, & hæc erit locus perpetuus puncti illius mobilis *M*. Nam, si fieri potest, versetur punctum *M* in linea aliqua curva. Tanget ergo punctum *D* sectionem conicam per puncta quinque *B*, *C*, *A*, *p*, *P* transeuntem, ubi punctum *M* perpetuo tangit lineam curvam. Sed & ex jam demonstratis tanget etiam punctum *D* sectionem conicam per eadem quinque puncta *B*, *C*, *A*, *p*, *P*, transeuntem, ubi punctum

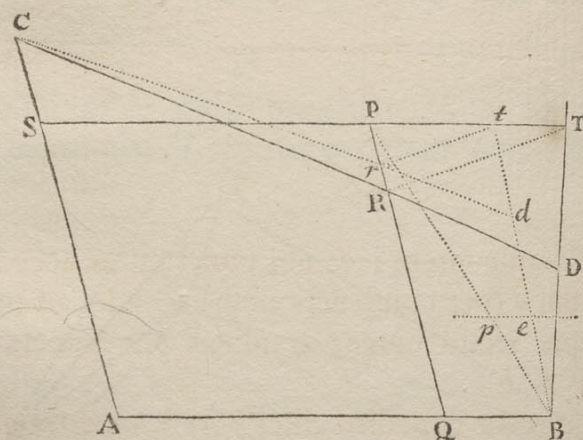


punctum  $M$  perpetuo tangit lineam rectam. Ergo duæ sectiones conicæ transibunt per eadem quinque puncta, contra corol. 3. lemmat. xx. Igitur punctum  $M$  versari in linea curva absurdum est.  $Q. E. D.$

## PROPOSITIO XXII. PROBLEMA XIV.

*Trajectoriam per data quinque puncta describere.*

Dentur puncta quinque  $A, B, C, P, D$ . Ab eorum aliquo  $A$  ad alia duo quævis  $B, C$ , quæ poli nominentur, age rectas  $AB, AC$ , hisque parallelas  $TPS, PRQ$  per punctum quartum  $P$ . Deinde a polis duobus  $B, C$  age per punctum quintum  $D$  infinitas duas  $BDT, CRD$ , novissime ductis  $TPS, PRQ$  (priorem priori & posteriorem posteriori) occurrentes in  $T$  &  $R$ . Denique de rectis  $PT, PR$ , acta recta  $tr$  ipsi  $TR$  parallela, abscinde quasvis  $Pt, Pr$  ipsi  $PT, PR$  proportionales; & si per earum terminos  $t, r$  & polos  $B, C$  actæ  $Bt, Cr$  concurrant in  $d$ , locabitur punctum illud  $d$  in trajectoria qua-

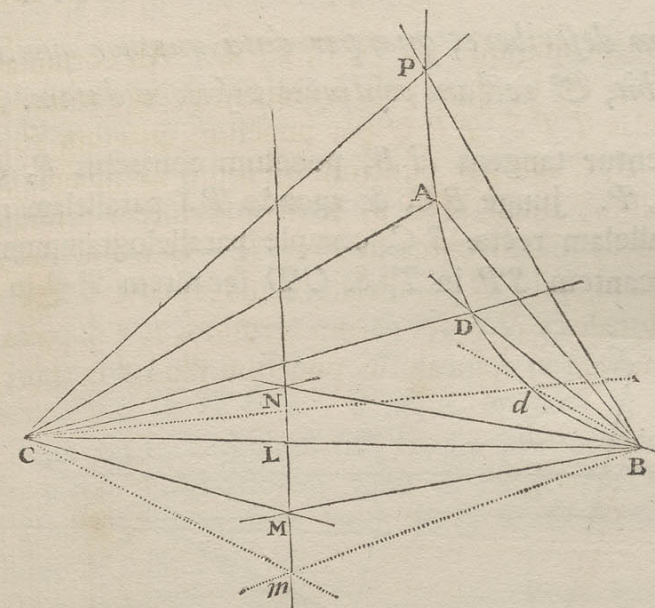


sita. Nam punctum illud  $d$  (per lem. xx.) versatur in conica sectione per puncta quatuor  $A, B, C, P$  transeunte; & lineis  $Rr, Tt$  evanescentibus, coit punctum  $d$  cum puncto  $D$ . Transigit ergo sectio conica per puncta quinque  $A, B, C, P, D$ .  $Q. E. D.$

*Idem aliter.*

E punctis datis junge tria quævis  $A, B, C$ ; & circum duo eorum  $B, C$ , ceu polos, rotando angulos magnitudine datos  $ABC, ACB$ , applicentur crura  $BA, CA$  primo ad punctum  $D$ , deinde ad punctum

etiam  $P$ , & notentur puncta  $M, N$  in quibus altera crura  $BL, CL$  casu utroque se decussant. Agatur recta infinita  $MN$ , & rotentur anguli illi mobiles circum polos suos  $B, C$ , ea lege ut crurum  $BL, CL$  vel  $BM, CM$  intersectio, quæ jam sit  $m$ , incidat semper in rectam illam infinitam  $MN$ ; & crurum  $BA, CA$ , vel  $BD, CD$  intersectio, quæ jam sit  $d$ , trajectoriam quæsitam  $PAD$  delineabit. Nam punctum  $d$  (per lem. xxi.) continget sectionem conicam



per puncta  $B, C$  transeuntem; & ubi punctum  $m$  accedit ad puncta  $L, M, N$ , punctum  $d$  (per constructionem) accedet ad puncta  $ADP$ . Describetur itaque sectio conica transiens per puncta quinque  $A, B, C, P, D$ .  $Q. E. F.$

*Corol. 1.* Hinc recta expedite duci potest, quæ trajectoriam quæsitam in puncto quovis dato  $B$  continget. Accedat punctum  $d$  ad punctum  $B$ , & recta  $Bd$  evadet tangens quæsitam.

*Corol. 2.* Unde etiam trajectoriarum centra, diametri & latera recta inveniri possunt, ut in corollario secundo lemmatis xix.

*Scholium.*

Constructio prior evadet paulo simplicior jungendo  $BP$ , & in ea, si opus est, producta capiendò  $Bp$  ad  $BP$  ut est  $PR$  ad  $PT$ ; & per  $p$  agendo rectam infinitam  $pe$  ipsi  $SPT$  parallelam, & in ea capiendò

M 2

capiendo

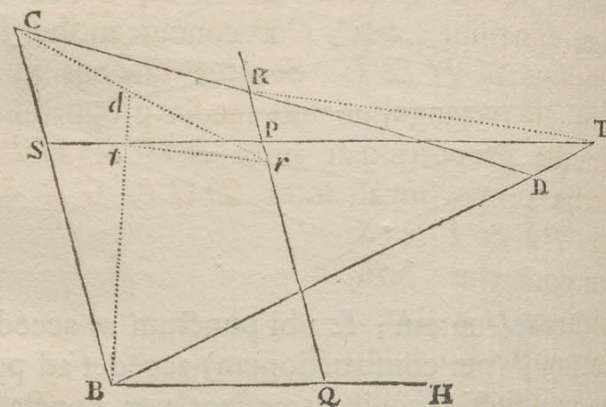


capiendo semper  $pe$  æqualem  $Pr$ ; & agendo rectas  $Be$ ,  $Cr$  concurrentes in  $d$ . Nam cum sint  $Pr$  ad  $Pt$ ,  $PR$  ad  $PT$ ,  $pB$  ad  $PB$ ,  $pe$  ad  $Pt$  in eadem ratione; erunt  $pe$  &  $Pr$  semper æquales. Hac methodo puncta trajectory inveniuntur expeditissime, nisi mavis curvam, ut in constructione secunda, describere mechanice.

## PROPOSITIO XXIII. PROBLEMA XV.

*Trajectoriam describere, quæ per data quatuor puncta transibit, & rectam continget positione datam.*

*Cas. 1.* Dentur tangens  $HB$ , punctum contactus  $B$ , & alia tria puncta  $C$ ,  $D$ ,  $P$ . Junge  $BC$ , & agendo  $PS$  parallelam rectæ  $BH$ , &  $PQ$  parallelam rectæ  $BC$ , comple parallelogrammum  $BSPQ$ . Age  $BD$  secantem  $SP$  in  $T$ , &  $CD$  secantem  $PQ$  in  $R$ . Deni-



que, agendo quamvis  $tr$  ipsi  $TR$  parallelam, de  $PQ$ ,  $PS$  abscinde  $Pr$ ,  $Pt$  ipsi  $PR$ ,  $PT$  proportionales respectivæ; & actuum  $Cr$ ,  $Bt$  concursus  $d$  (per lem. xx.) incidet semper in trajectory describendam.

*Idem aliter.*

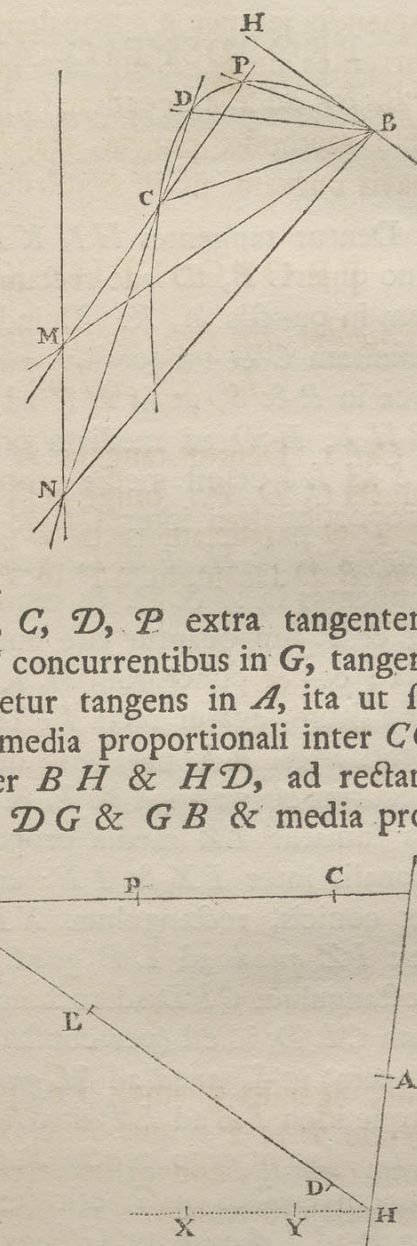
Revolvatur tum angulus magnitudine datus  $CBH$  circa polum  $B$ , tum radius quilibet rectilineus & utrinque productus  $DC$  circa polum  $C$ . Notentur puncta  $M$ ,  $N$ , in quibus anguli cruris  $BC$  secant radium illum, ubi crur alterum  $BH$  concurrat cum eodem radio in punctis  $P$  &  $D$ . Deinde ad actam infinitam  $MN$  concurrant per-

petuo radius ille  $CP$  vel  $CD$  & anguli cruris  $BC$ , & cruris alterius  $BH$  concursus cum radio delineabit trajectory quæsitam.

Nam si in constructionibus problematis superioris accedat punctum  $A$  ad punctum  $B$ , lineæ  $CA$  &  $CB$  coincident, & lineæ  $AB$  in ultimo suo situ fiet tangens  $BH$ ; atque ideo constructiones ibi positæ evadent eadem cum constructionibus hic descriptis. Delineabit igitur cruris  $BH$  concursus cum radio sectionem conicam per puncta  $C$ ,  $D$ ,  $P$  transeuntem, & rectam  $BH$  tangentem in puncto  $B$ . *Q. E. F.*

*Cas. 2.* Dentur puncta quatuor  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $P$  extra tangentem  $HI$  sita. Junge bina lineis  $BD$ ,  $CP$  concurrentibus in  $G$ , tangentique occurrentibus in  $H$  &  $I$ . Secetur tangens in  $A$ , ita ut sit  $HA$  ad  $IA$ , ut est rectangulum sub media proportionali inter  $CG$  &  $GP$  & media proportionali inter  $BH$  &  $HD$ , ad rectangulum sub media proportionali inter  $DG$  &  $GB$  & media proportionali inter  $PI$  &  $IC$ ; & erit  $A$  punctum contactus. Nam si rectæ  $PI$  parallela  $HX$  trajectory secet in punctis quibuscvis  $X$  &  $T$ : erit (ex conicis) punctum  $A$  ita locandum, ut fuerit  $HA$  quad. ad  $AI$  quad. in ratione composita ex ratione rectanguli  $XHT$  ad rectangulum  $BHD$ , seu rectanguli  $CGP$  ad rectangulum  $DGB$ , & ex ratione rectanguli  $BHD$  ad rectangulum  $PIC$ . Invento autem contactus puncto  $A$ , describetur trajectory ut in casu primo. *Q. E. F.*

Capi autem potest punctum  $A$  vel inter puncta  $H$  &  $I$ , vel extra; & perinde trajectory dupliciter describi.



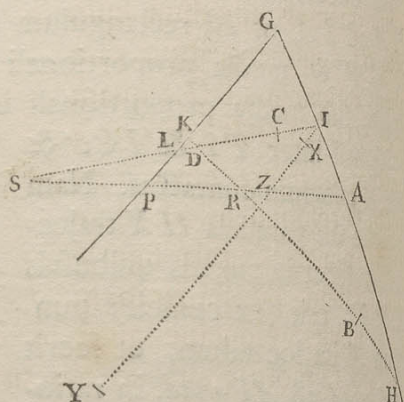
PROPO.



## PROPOSITIO XXIV PROBLEMA XVI.

*Trajectoriam describere, quæ transibit per data tria puncta, & rectas duas positione datas continget.*

Dentur tangentes  $HI$ ,  $KL$  & puncta  $B$ ,  $C$ ,  $D$ . Per punctorum duo quævis  $B$ ,  $D$  age rectam infinitam  $BD$  tangentibus occurrentem in punctis  $H$ ,  $K$ . Deinde etiam per alia duo quævis  $C$ ,  $D$  age infinitam  $CD$  tangentibus occurrentem in punctis  $I$ ,  $L$ . Actas ita secas in  $R$  &  $S$ , ut sit  $HR$  ad  $KR$  ut est media proportionalis inter  $BH$  &  $HD$  ad mediam proportionalem inter  $BK$  &  $KD$ ; &  $IS$  ad  $LS$  ut est media proportionalis inter  $CI$  &  $ID$  ad mediam proportionalem inter  $CL$  &  $LD$ . Seca autem pro lubitu vel inter puncta  $K$  &  $H$ ,  $I$  &  $L$ , vel extra eadem; dein age  $RS$  secantem tangentes in  $A$  &  $P$ , & erunt  $A$  &  $P$  puncta contactuum. Nam si  $A$  &  $P$  supponantur esse puncta contactuum alicubi in tangentibus sita; & per punctorum  $H$ ,  $I$ ,  $K$ ,  $L$  quodvis  $I$ , in tangente alterutra  $HI$  situm, agatur recta  $IT$  tangenti alteri  $KL$  parallela, quæ occurrat curvæ in  $X$  &  $T$ , & in ea sumatur  $IZ$  media proportionalis inter  $IX$  &  $IT$ : erit, ex conicis, rectangulum  $XIT$  seu  $IZ$  quad. ad  $LP$  quad. ut rectangulum  $CID$  ad rectangulum  $CLD$ , id est (per constructionem) ut  $SI$  quad. ad  $SL$  quad. atque ideo  $IZ$  ad  $LP$  ut  $SI$  ad  $SL$ . Jacent ergo puncta  $S$ ,  $P$ ,  $Z$  in una recta. Porro tangentibus concurrentibus in  $G$ , erit (ex conicis) rectangulum  $XIT$  seu  $IZ$  quad. ad  $IA$  quad. ut  $GP$  quad. ad  $GA$  quad. ideoque  $IZ$  ad  $IA$  ut  $GP$  ad  $GA$ . Jacent ergo puncta  $P$ ,  $Z$  &  $A$  in una recta, ideoque puncta  $S$ ,  $P$  &  $A$  sunt in una recta. Et eodem argumento probabitur quod puncta  $R$ ,  $P$  &  $A$  sunt in una recta. Jacent igitur puncta contactuum  $A$  &  $P$  in recta  $RS$ . Hisce autem inventis, trajectoria describetur ut in casu primo problematis superioris. *Q. E. F.*



## PRINCIPIA MATHEMATICA.

In hac propositione, & casu secundo propositionis superioris constructiones eadem sunt, sive recta  $XT$  trajectoriam secet in  $X$  &  $T$ , sive non secet; eæque non pendent ab hac sectione. Sed demonstratis constructionibus ubi recta illa trajectoriam secat, innotescunt constructiones, ubi non secat; iisque ultra demonstrandis brevitatis gratia non immoror.

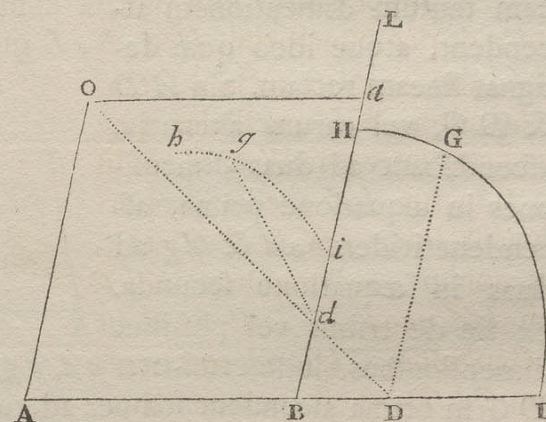
## L E M M A XXII.

*Figuras in alias ejusdem generis figuras mutare.*

Transmutanda sit figura quævis  $HGI$ . Ducantur pro lubitu rectæ duæ parallelæ  $AO$ ,  $BL$  tertiam quamvis positione datam  $AB$  secantes in  $A$  &  $B$ , & a figuræ puncto quovis  $G$ , ad rectam  $AB$  ducatur quævis  $GD$ , ipsi  $OA$  parallela. Deinde a puncto aliquo  $O$ , in linea  $OA$  dato, ad punctum  $D$  ducatur recta  $OD$ , ipsi  $BL$  occurrens in  $d$ , & a puncto occursus erigatur recta  $dg$  datum quemvis angulum cum recta  $BL$  continens, atque eam habens rationem ad  $Od$  quam habet  $DG$  ad  $OD$ ; & erit  $g$  punctum in figura nova  $hgi$  puncto  $G$  respondens. Eadem ratione puncta singula figuræ primæ dabunt puncta totidem figuræ novæ. Concipe igitur punctum  $G$  motu continuo percurrere puncta omnia figuræ primæ, & punctum  $g$  motu itidem continuo percurreret puncta omnia figuræ novæ & eandem describet. Distinctionis gratia nominemus  $DG$  ordinatam primam,  $dg$  ordinatam novam;  $AD$  abscissam primam,  $ad$  abscissam novam;  $O$  polum,  $OD$  radium abscindentem,  $OA$  radium ordinatum primum, &  $Od$  (quo parallelogrammum  $OABa$  completur) radium ordinatum novum.

Dico jam quod, si punctum  $G$  tangit rectam lineam positione datam, punctum  $g$  tanget etiam lineam rectam positione datam. Si punctum  $G$  tangit conicam sectionem, punctum  $g$  tanget etiam conicam sectionem. Conicis sectionibus hic circulum annumero. Porro

ro

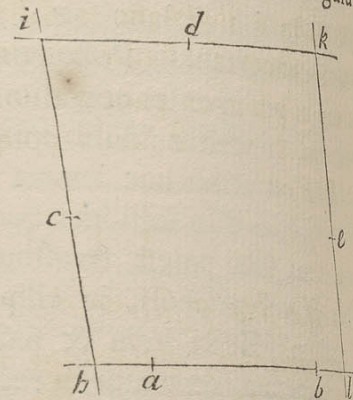








parallela transiens per puncta illa  $a, b$ , per quæ conica sectio in hac figura nova transire debet, & parallelogrammum  $bikl$  complens. Secentur rectæ  $bi, ik, kl$  in  $c, d, e$ , ita ut sit  $bc$  ad latus quadratum rectanguli  $abb$ ,  $ic$  ad  $id$ , &  $ke$  ad  $kd$  ut est summa rectarum  $bi$  &  $kl$  ad summam trium linearum, quarum prima est recta  $ik$ , & alteræ duæ sunt latera quadrata rectangulorum  $abb$  &  $alb$ : & erunt  $c, d, e$  puncta contactuum. Etenim, ex conicis, sunt  $bc$  quadratum ad rectangulum  $abb$ , &  $ic$  quadratum ad  $id$  quadratum, &  $ke$  quadratum ad  $kd$  quadratum, &  $el$  quadratum ad rectangulum  $alb$  in eadem ratione; & propterea  $bc$  ad latus quadratum ipsius  $abb$ ,  $ic$  ad  $id$ ,  $ke$  ad  $kd$ , &  $el$  ad latus quadratum ipsius  $alb$  sunt in subduplicata illa ratione, & composite, in data ratione omnium antecedentium  $bi$  &  $kl$  ad omnes consequentes, quæ sunt latus quadratum rectanguli  $abb$ , & recta  $ik$ , & latus quadratum rectanguli  $alb$ . Habentur igitur ex data illa ratione puncta contactuum  $c, d, e$ , in figura nova. Per inversas operationes lemmatis novissimi transferantur hæc puncta in figuram primam, & ibi (per prob. xiv.) describetur trajectory. *Q. E. F.* Cæterum perinde ut puncta  $a, b$  jacent vel inter puncta  $b, l$ , vel extra, debent puncta  $c, d, e$  vel inter puncta  $b, i, k, l$  capi, vel extra. Si punctorum  $a, b$  alterutrum cadit inter puncta  $b, l$ , & alterum extra, problema impossibile est.

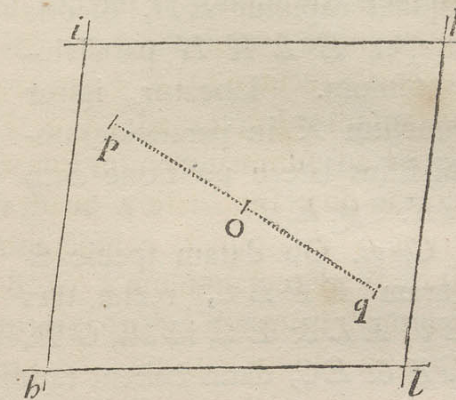


PROPOSITIO XXVI. PROBLEMA XVIII.

*Trajectoriam describere, quæ transibit per punctum datum, & rectas quatuor positione datas continget.*

Ab interfectione communi duarum quarumlibet tangentium ad interfectionem communem reliquarum duarum agatur recta infinita, & eadem pro radio ordinato primo adhibita, transmutetur figura (per lem. xxii.) in figuram novam, & tangentes binæ, quæ ad radium ordinatum primum concurrebant, jam evadent parallelæ. Sum-

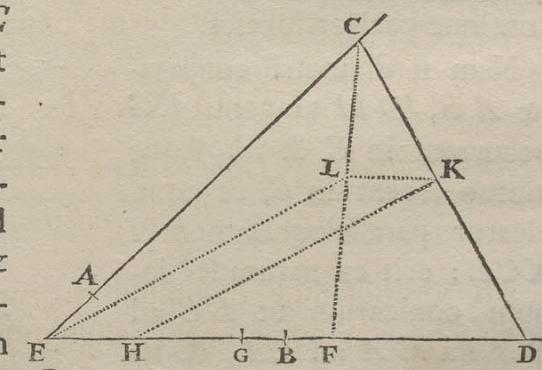
to illæ  $bi$  &  $kl, ik$  &  $bl$  continentes parallelogrammum  $bikl$ . Sitque  $p$  punctum in hac nova figura puncto in figura prima dato respondens. Per figuræ centrum  $O$  agatur  $pq$ , & existente  $Oq$  æquali  $Op$ , erit  $q$  punctum alterum per quod sectio conica in hac figura nova transire debet. Per lemmatis xxii. operationem inversam transferatur hoc punctum in figuram primam, & ibi habebuntur puncta duo per quæ trajectory describenda est. Per eadem vero describi potest trajectory illa per problema xvii. *Q. E. F.*



LEMMA XXIII.

*Si rectæ duæ positione datæ AC, BD ad data puncta A, B, terminentur, datamque habeant rationem ad invicem, & recta CD, qua puncta indeterminata C, D junguntur, secetur in ratione data in K: dico quod punctum K locabitur in recta positione data.*

Concurrant enim rectæ AC, BD in E, & in BE capiatur BG ad AE ut est BD ad AC, sitque FD semper æqualis datæ EG; & erit ex constructione EC ad GD, hoc est, ad EF ut AC ad BD, ideoque in ratione data, & propterea dabitur specie triangulum EFC. Secetur CF in L ut sit CL ad CF in ratione CK ad CD; & ob datam illam rationem, dabitur etiam specie triangulum EFL; proindeque punctum L locabitur in recta EL positione data. Junge LK, & similia erunt triangula CLK, CFD; & ob datam FD & datam rationem LK ad FD, dabitur LK. Huic æqualis

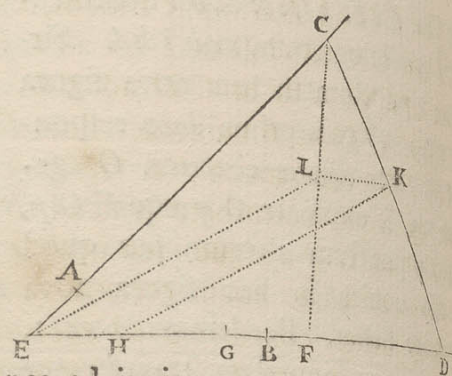




DE MOTU  
CORPORUM

æqualis capiatur  $EH$ , & erit semper  $E L K H$  parallelogrammum. Locatur igitur punctum  $K$  in parallelogrammi illius latere positione dato  $HK$ .  $Q. E. D.$

*Corol.* Ob datam specie figuram  $EFLC$ , rectæ tres  $EF, EL$  &  $EC$ , id est,  $GD, HK$  &  $EC$ , datas habent rationes ad invicem.

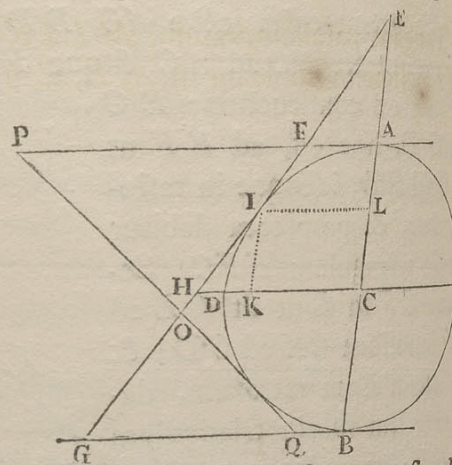


## L E M M A XXIV.

*Si rectæ tres tangant quamcunque conic sectionem, quarum due parallele sint ac dentur positione; dico quod sectionis semidiameter bisce duabus parallela, sit media proportionalis inter harum segmenta, punctis contactuum & tangenti tertie interjecta.*

Sunto  $AF, GB$  parallelæ duæ conic sectionem  $ADB$  tangentes in  $A$  &  $B$ ;  $EF$  recta tertia conic sectionem tangens in  $I$ , & occurrens prioribus tangentibus in  $F$  &  $G$ ; sitque  $CD$  semidiameter figuræ tangentibus parallela: dico quod  $AF, CD, BG$  sunt continue proportionales.

Nam si diametri conjugatæ  $AB, DM$  tangenti  $FG$  occurrant in  $E$  &  $H$ , seque mutuo secant in  $C$ , & compleatur parallelogrammum  $IKCL$ ; erit ex natura sectionum conicarum ut  $EC$  ad  $CA$  ita  $CA$  ad  $CL$ , & ita divisim  $EC-CA$  ad  $CA-CL$ , seu  $EA$  ad  $AL$ , & compositæ  $EA$  ad  $EA+AL$  seu  $EL$  ut  $EC$  ad  $EC+CA$  seu  $EB$ ; ideoque, ob similitudinem triangulorum  $EAF, ELI, ECH, EBG, AF$  ad  $LI$  ut

LIBER  
PRIMUS.

$LI$  ut  $CH$  ad  $BG$ . Est itidem, ex natura sectionum conicarum,  $LI$  seu  $CK$  ad  $CD$  ut  $CD$  ad  $CH$ ; atque ideo ex æquo perturbate  $AF$  ad  $CD$  ut  $CD$  ad  $BG$ .  $Q. E. D.$

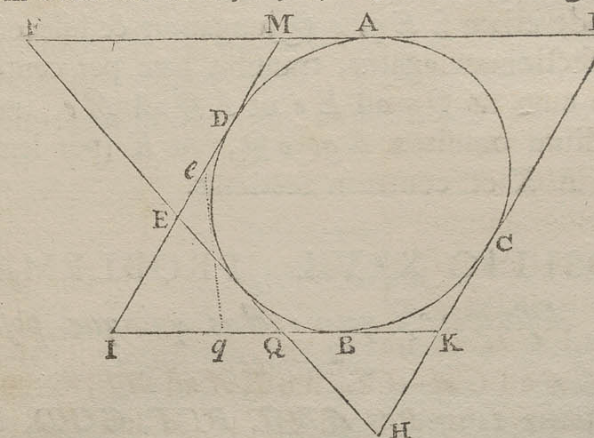
*Corol. 1.* Hinc si tangentibus duæ  $FG, PQ$  tangentibus parallelis  $AF, BG$  occurrant in  $F$  &  $G, P$  &  $Q$ , seque mutuo secant in  $O$ ; erit ex æquo perturbate  $AF$  ad  $BQ$  ut  $AP$  ad  $BG$ , & divisim ut  $FP$  ad  $GQ$ , atque ideo ut  $FO$  ad  $OG$ .

*Corol. 2.* Unde etiam rectæ duæ  $PG, FQ$ , per puncta  $P$  &  $G, F$  &  $Q$  ductæ, concurrent ad rectam  $ACB$  per centrum figuræ & puncta contactuum  $A, B$  transeuntem.

## L E M M A XXV.

*Si parallelogrammi latera quatuor infinite producta tangant sectionem quamcunque conicam, & abscindantur ad tangentem quamvis quintam; sumantur autem laterum quorumvis duorum conterminorum abscissæ terminatæ ad angulos oppositos parallelogrammi: dico quod abscissa alterutra sit ad latus illud a quo est abscissa, ut pars lateris alterius contermini inter punctum contactus & latus tertium est ad abscissarum alteram.*

Tangent parallelogrammi  $MLIK$  latera quatuor  $ML, IK, KL, MI$  sectionem conicam in  $A, B, C, D$ , & secet tangens quinta  $FQ$

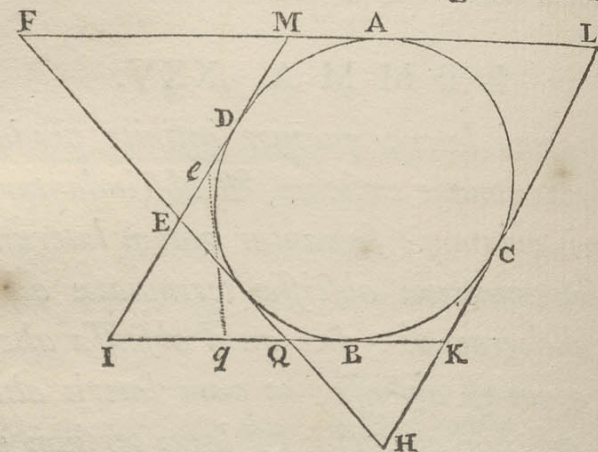


hæc latera in  $F, Q, H$  &  $E$ ; sumantur autem laterum  $MI, KI$  abscissæ



abscissæ  $ME$ ,  $KQ$ , vel laterum  $KL$ ,  $ML$  abscissæ  $KH$ ,  $MF$ . dico quod sit  $ME$  ad  $MI$  ut  $BK$  ad  $KQ$ ; &  $KH$  ad  $KL$  ut  $AM$  ad  $MF$ . Nam per corollarium primum lemmatis superioris est  $ME$  ad  $EI$  ut  $AM$  seu  $BK$  ad  $BQ$ , & componendo  $ME$  ad  $MI$  ut  $BK$  ad  $KQ$ . *Q. E. D.* Item  $KH$  ad  $HL$  ut  $BK$  seu  $AM$  ad  $AF$ , & dividendo  $KH$  ad  $KL$  ut  $AM$  ad  $MF$ . *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc si datur parallelogrammum  $IKLM$ , circa datam sectionem conicam descriptum, dabitur rectangulum  $KQ \times ME$ , ut & huic æquale rectangulum  $KH \times MF$ . Æquantur enim rectangula illa ob similitudinem triangulorum  $KQH$ ,  $MFE$ .



*Corol. 2.* Et si sexta ducatur tangens  $eq$  tangentibus  $KI$ ,  $MI$  occurrens in  $q$  &  $e$ ; rectangulum  $KQ \times ME$  æquabitur rectangulo  $Kq \times Me$ ; eritque  $KQ$  ad  $Me$  ut  $Kq$  ad  $ME$ , & divisim ut  $Qq$  ad  $Ee$ .

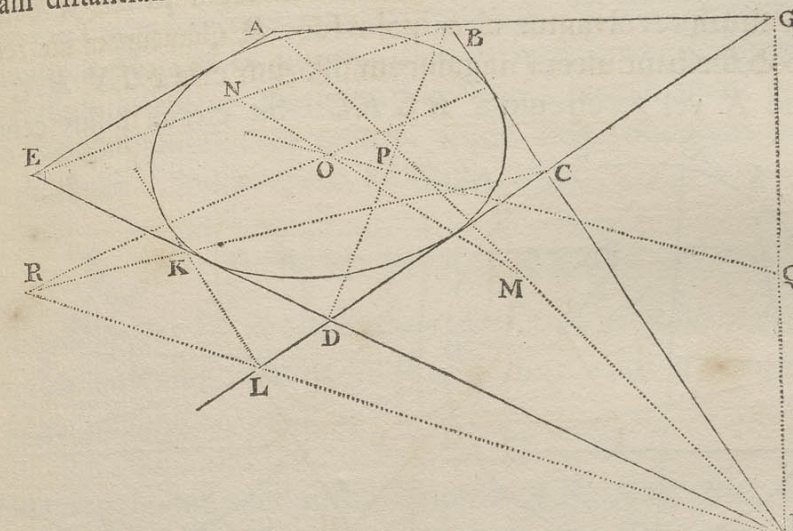
*Corol. 3.* Unde etiam si  $Eq$ ,  $eQ$  jungantur & bisecentur, & recta per puncta bisectionum agatur, transibit hæc per centrum sectionis conicæ. Nam cum sit  $Qq$  ad  $Ee$  ut  $KQ$  ad  $Me$ , transibit eadem recta per medium omnium  $Eq$ ,  $eQ$ ,  $MK$  (per lem. xxiii.) & medium rectæ  $MK$  est centrum sectionis.

## PROPOSITIO XXVII. PROBLEMA XIX.

*Trajectoriam describere, quæ rectas quinque positione datas continget.*

Dentur positione tangentibus  $ABG$ ,  $BCF$ ,  $GCD$ ,  $FDE$ ,  $E.A$ . Figuræ quadrilateræ sub quatuor quibusvis contentæ  $ABFE$  diagonales

gonales  $AF$ ,  $BE$  biseca in  $M$  &  $N$ , & (per corol. 3. lem. xxv.) recta  $MN$  per puncta bisectionum acta transibit per centrum trajectoriæ. Rursus figuræ quadrilateræ  $BGDF$ , sub aliis quibusvis quatuor tangentibus contentæ, diagonales (ut ita dicam)  $BD$ ,  $GF$  biseca in  $P$  &  $Q$ ; & recta  $PQ$  per puncta bisectionum acta transibit per centrum trajectoriæ. Dabitur ergo centrum in concursu bisectionum. Sit illud  $O$ . Tangenti cuius  $BC$  parallelam age  $KL$ , bisectionum. Sit illud  $O$ . Tangenti cuius  $BC$  parallelam age  $KL$ , ad eam distantiam ut centrum  $O$  in medio inter parallelas locetur,



& acta  $KL$  tanget trajectoriam describendam. Secet hæc tangentibus alias quasvis duas  $GCD$ ,  $FDE$  in  $L$  &  $K$ . Per harum tangentium non parallelarum  $CL$ ,  $FK$  cum parallelis  $CF$ ,  $KL$  concursus  $C$  &  $K$ ,  $F$  &  $L$  age  $CK$ ,  $FL$  concurrentes in  $R$ , & recta  $OR$  ducta & producta secabit tangentibus parallelas  $CF$ ,  $KL$  in punctis contactuum. Patet hoc per corol. 2. lem. xxiv. Eadem methodo invenire licet alia contactuum puncta, & tum demum per construct. prob. xiv. trajectoriam describere. *Q. E. F.*

*Scholium.*

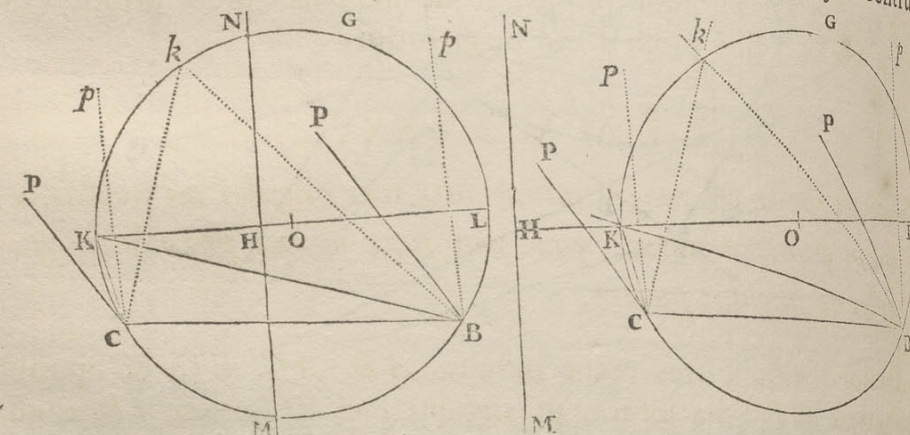
Problemata, ubi dantur trajectoriarum vel centra vel asymptoti, includuntur in præcedentibus. Nam datis punctis & tangentibus una cum centro, dantur alia totidem puncta aliæque tangentibus a centro ex altera ejus parte æqualiter distantes. Asymptotos autem pro tangente habenda est, & ejus terminus infinite distans (si ita loqui



DE MOTU  
CORPORUM

qui fas sit) pro puncto contactus. Concipe tangentis cujusvis punctum contactus abire in infinitum, & tangens vertetur in Asymptoton, atque constructiones problematum præcedentium vertentur in constructiones ubi Asymptotos datur.

Postquam trajectoria descripta est, invenire licet axes & umbilicos ejus hac methodo. In constructione & figura lemmatis xxi. fac ut angulorum mobilium  $PBN$ ,  $PCN$  crura  $BP$ ,  $CP$ , quorum concursu trajectoria describebatur, sint sibi invicem parallela, eumque servantia situm revolvantur circa polos suos  $B$ ,  $C$  in figura illa. Interea vero describant altera angulorum illorum crura  $CN$ ,  $BN$ , concursu suo  $K$  vel  $k$ , circulum  $BGKC$ . Sit circuli hujus centrum



$O$ . Ab hoc centro ad regulam  $MN$ , ad quam altera illa crura  $CN$ ,  $BN$  interea concurrebant, dum trajectoria describebatur, demitte normalem  $OH$  circulo occurrentem in  $K$  &  $L$ . Et ubi crura illa altera  $CK$ ,  $BK$  concurrunt ad punctum illud  $K$  quod regulæ propius est, crura prima  $CP$ ,  $BP$  parallela erunt axi majori, & perpendicularia minori; & contrarium eveniet, si crura eadem concurrunt ad punctum remotius  $L$ . Unde si detur trajectoriæ centrum, dabuntur axes. Hisce autem datis, umbilici sunt in promptu.

Axium vero quadrata sunt ad invicem ut  $KH$  ad  $LH$ , & inde facile est trajectoriam specie datam per data quatuor puncta describere. Nam si duo ex punctis datis constituentur poli  $C$ ,  $B$ , tertium dabit angulos mobiles,  $PCK$ ,  $PBK$ ; his autem datis describi potest circulus  $BGKC$ . Tum ob datam specie trajectoriam, dabitur ratio  $OH$  ad  $OK$ , ideoque ipsa  $OH$ . Centro  $O$  & intervallo  $OH$  describe

LIBER  
PRIMUS.

describere alium circulum, & recta, quæ tangit hunc circulum, & transit per concursum crurum  $CK$ ,  $BK$ , ubi crura prima  $CP$ ,  $BP$  concurrunt ad quartum datum punctum, erit regula illa  $MN$  cujus ope trajectoria describetur. Unde etiam vicissim trapezium specie datum (si casus quidam impossibiles excipiantur) in data quavis sectione conica in scribi potest.

Sunt & alia lemmata quorum ope trajectoriæ specie datæ, datis punctis & tangentibus, describi possunt. Ejus generis est quod, si recta linea per punctum quodvis positione datum ducatur, quæ datam conicæ sectionem in punctis duobus interfecet, & intersectionum intervallum bisecetur, punctum bisectionis tanget aliam conicæ sectionem ejusdem speciei cum priore, atque axes habentem prioris axis parallelus. Sed propero ad magis utilia.

## LEMMA XXVI.

*Trianguli specie & magnitudine dati tres angulos ad rectas totidem positione datas, quæ non sunt omnes parallele, singulos ad singulas ponere.*

Dantur positione tres rectæ infinitæ  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$ , & oportet triangulum  $DEF$  ita locare, ut angulus ejus  $D$  lineam  $AB$ , angulus  $E$  lineam  $AC$ , & angulus  $F$  lineam  $BC$  tangat. Super  $DE$ ,  $DF$  &  $EF$  describe tria circulorum segmenta  $DRE$ ,  $DGF$ ,  $EMF$ , quæ capiant angulos angulis  $BAC$ ,  $ABC$ ,  $ACB$  æquales respective. Describantur autem hæc segmenta ad eas partes linearum  $DE$ ,  $DF$ ,  $EF$ , ut literæ  $DRE$  eodem ordine cum literis  $BACB$ , literæ  $DGF$  eodem cum literis  $ABCA$ , & literæ  $EMF$  eodem cum literis  $ACBA$  in orbem redeant; deinde compleantur hæc segmenta in circulos integros. Secent circuli duo priores se mutuo in  $G$ , sintque centra eorum  $P$  &  $Q$ . Junctis  $GP$ ,  $PQ$ , cape  $Ga$  ad  $AB$  ut est  $GP$  ad  $PQ$ , & centro  $G$ , intervallo  $Ga$  describe circulum, qui secet circulum primum  $DGE$  in  $a$ . Jungatur tum  $aD$  secans circulum secundum  $DFG$  in  $b$ , tum  $aE$  secans circulum tertium  $EMF$  in  $c$ . Et jam licet figuram  $ABCdef$  constituere similem & æqualem figuræ  $abcDEF$ . Quo facto perficitur problema.

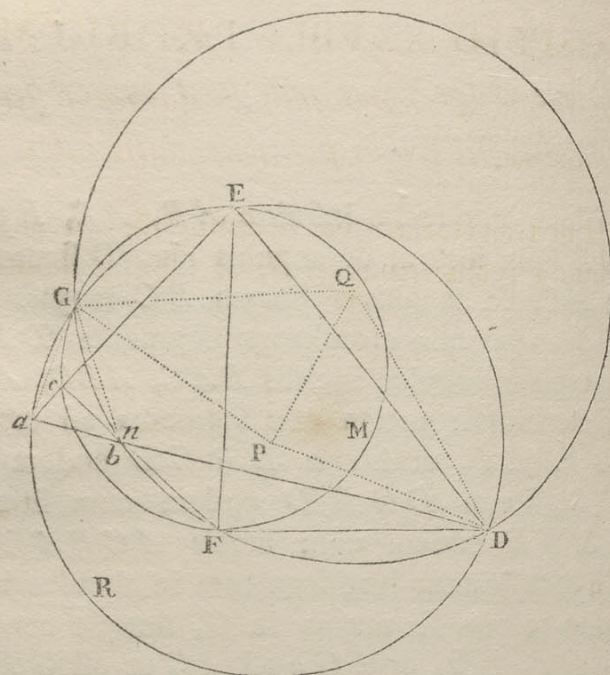
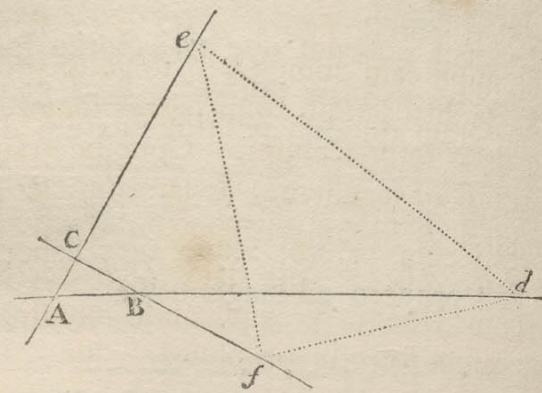
O

Agatur



DE MOTU  
CORPORUM

Agatur enim  $Fc$  ipsi  $aD$  occurrens in  $n$ , & jungantur  $aG$ ,  $bG$ ,  $QG$ ,  $QD$ ,  $PD$ . Ex constructione est angulus  $EaD$  æqualis angulo  $CAB$ , & angulus  $acF$  æqualis angulo  $ACB$ , ideoque triangulum  $anc$  triangulo  $ABC$  æquiangulum. Ergo angulus  $anc$  seu  $FnD$  angulo  $ABC$ , ideoque angulo  $FbD$  æqualis est; & prop-



terea punctum  $n$  incidit in punctum  $b$ . Porro angulus  $GPQ$ , qui dimidius est anguli ad centrum  $GPQ$ , æqualis est angulo ad circumferentiam  $GaD$ ; & angulus  $GQP$ , qui dimidius est anguli ad centrum  $GQD$ , æqualis est complemento ad duos rectos anguli ad circumferentiam  $GbD$ , ideoque æqualis angulo  $Gba$ ; funtque ideo

LITTE  
PRIMUS.

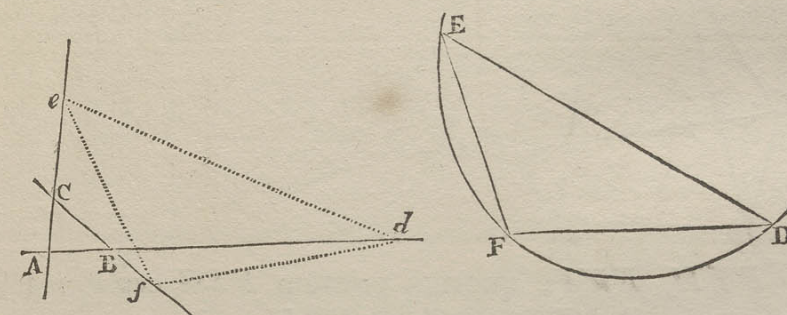
ideo triangula  $GPQ$ ,  $Gab$  similia; &  $Ga$  est ad  $ab$  ut  $GP$  ad  $PQ$ ; id est (ex constructione) ut  $Ga$  ad  $AB$ . Æquantur itaque  $ab$  &  $AB$ ; & propterea triangula  $abc$ ,  $ABC$ , quæ modo similia esse probavimus, sunt etiam æqualia. Unde, cum tangent insuper trianguli  $DEF$  anguli  $D$ ,  $E$ ,  $F$  trianguli  $abc$  latera  $ab$ ,  $ac$ ,  $bc$  respective, compleri potest figura  $ABCdef$  figuræ  $abcDEF$  similis & æqualis, atque eam complendo solvetur problema.  $Q.E.F.$

*Corol.* Hinc recta duci potest cujus partes longitudine datæ rectis tribus positione datis interjacebunt. Concipe triangulum  $DEF$ , puncto  $D$  ad latus  $EF$  accedente, & lateribus  $DE$ ,  $DF$  in directum positis, mutari in lineam rectam, cujus pars data  $DE$  rectis positione datis  $AB$ ,  $AC$ , & pars data  $DF$  rectis positione datis  $AB$ ,  $BC$  interponi debet; & applicando constructionem præcedentem ad hunc casum solvetur problema.

## PROPOSITIO XXVIII. PROBLEMA XX.

*Trajectoriam Specie & magnitudine datam describere, cujus partes datæ rectis tribus positione datis interjacebunt.*

Describenda sit trajectoria, quæ sit similis & æqualis lineæ curvæ  $DEF$ , quæque a rectis tribus  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  positione datis, in



partes datis hujus partibus  $DE$  &  $EF$  similes & æquales secabuntur.

Age rectas  $DE$ ,  $EF$ ,  $DF$ , & trianguli hujus  $DEF$  pone angulos  $D$ ,  $E$ ,  $F$  ad rectas illas positione datas (per lem. xxvi) dein circa triangulum describe trajectoriam curvæ  $DEF$  similem & æqualem.  $Q.E.F.$

O 2

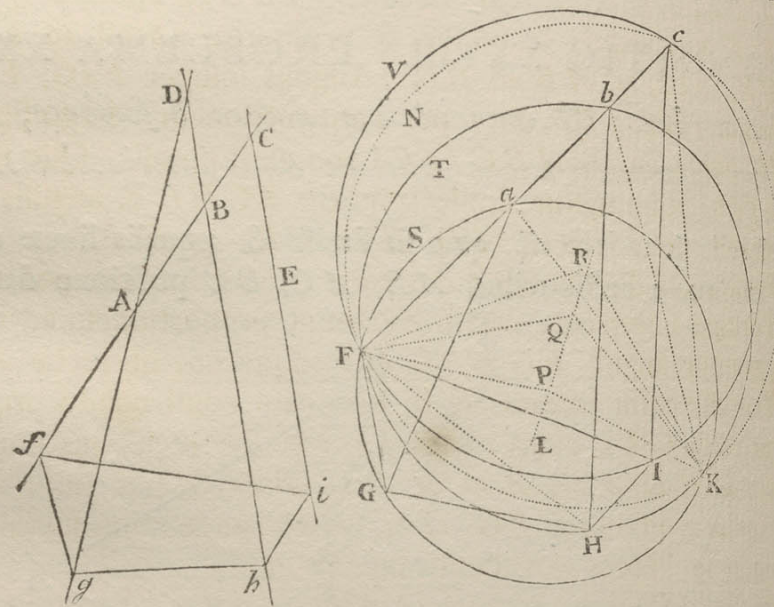
LEMMA



## L E M M A XXVII.

*Trapezium specie datum describere, cujus anguli ad rectas quatuor positione datas, quæ neque omnes parallelæ sunt, neque ad commune punctum convergunt, singuli ad singulas consistant.*

Dentur positione rectæ quatuor  $ABC, AD, BD, CE$ ; quarum prima secet secundam in  $A$ , tertiam in  $B$ , & quartam in  $C$ : & describendum sit trapezium  $fgbi$ , quod sit trapezio  $FGHI$  simile; & cujus angulus  $f$ , angulo dato  $F$  æqualis, tangat rectam  $ABC$ ; cæterique anguli  $g, b, i$ , cæteris angulis datis  $G, H, I$  æquales, tangant cæteras lineas  $AD, BD, CE$  respective. Jungatur  $FH$  & super  $FG, FH, FI$  describantur totidem circulorum segmenta



$FSG, FTH, FVI$ ; quorum primum  $FSG$  capiat angulum æqualem angulo  $BAD$ , secundum  $FTH$  capiat angulum æqualem angulo  $CBD$ , ac tertium  $FVI$  capiat angulum æqualem angulo  $ACE$ . Describi autem debent segmenta ad eas partes linearum  $FG, FH, FI$ , ut literarum  $FSGF$  idem sit ordo circularis qui literarum  $BADB$ , utque literæ  $FTHF$  eodem ordine cum literis  $CBDC$ , & literæ  $FVIF$  eodem cum literis  $ACEA$  in orbem redeant. Compleantur segmenta in circulos integros, sitque  $P$  cen-

$P$  centrum circuli primi  $FSG$ , &  $Q$  centrum secundi  $FTH$ . Jungatur & utrinque producat  $PQ$ , & in ea capiatur  $QR$  in ead ratione ad  $PQ$  quam habet  $BC$  ad  $AB$ . Capiatur autem  $QR$  ad eas partes puncti  $Q$  ut literarum  $P, Q, R$  idem sit ordo atque literarum  $A, B, C$ : centroque  $R$  & intervallo  $RF$  describatur circulus quartus  $FNI$  secans circulum tertium  $FVI$  in  $c$ . Jungatur  $Fc$  secans circulum primum in  $a$ , & secundum in  $b$ . Agantur  $aG, bH, cI$ , & figuræ  $abcFGHI$  similis constitui potest figura  $ABCfgbi$ . Quo facto erit trapezium  $fgbi$  illud ipsum, quod constituere oportebat.

Secent enim circuli duo primi  $FSG, FTH$  se mutuo in  $K$ . Jungantur  $PK, QK, RK, aK, bK, cK$ , & producat  $QP$  ad  $L$ . Anguli ad circumferentias  $FaK, FbK, FcK$  sunt semiles angulorum  $FPK, FQK, FRK$  ad centra, ideoque angulorum illorum dimidiis  $LPK, LQK, LRK$  æquales. Est ergo figura  $PQRK$  figuræ  $abcK$  æquiangularis & similis, & propterea  $ab$  est ad  $bc$  ut  $PQ$  ad  $QR$ , id est, ut  $AB$  ad  $BC$ . Angulis insuper  $FaG, FbH, FcI$  æquantur  $fAg, fBb, fCi$  per constructionem. Ergo figuræ  $abcFGHI$  figuræ similis  $ABCfgbi$  compleri potest. Quo facto trapezium  $fgbi$  constituetur simile trapezio  $FGHI$ , & angulis suis  $f, g, b, i$  tanget rectas  $ABC, AD, BD, CE$ .  $Q.E.F.$

*Corol.* Hinc recta duci potest cujus partes, rectis quatuor positione datis dato ordine interjectæ, datam habebunt proportionem ad invicem. Augeantur anguli  $FGH, GHI$  usque eo, ut rectæ  $FG, GH, HI$  in directum jaceant, & in hoc casu construendo problema ducetur recta  $fgbi$ , cujus partes  $fg, gb, bi$ , rectis quatuor positione datis  $AB$  &  $AD, AD$  &  $BD, BD$  &  $CE$  interjectæ, erunt ad invicem ut lineæ  $FG, GH, HI$ , eundemque servabunt ordinem inter se. Idem vero sic fit expeditius.

Producantur  $AB$  ad  $K$ , &  $BD$  ad  $L$ , ut sit  $BK$  ad  $AB$  ut  $HI$  ad  $GH$ ; &  $DL$  ad  $BD$  ut  $GI$  ad  $FG$ ; & jungatur  $KL$  occurrens rectæ  $CE$  in  $i$ . Producat  $iL$  ad  $M$ , ut sit  $LM$  ad  $iL$  ut  $GH$  ad  $HI$ , & agatur tum  $MQ$  ipsi  $LB$  parallela, rectæque  $AD$  occurrens in  $g$ , tum  $gi$  secans  $AB, BD$  in  $f, b$ . Dico factum.

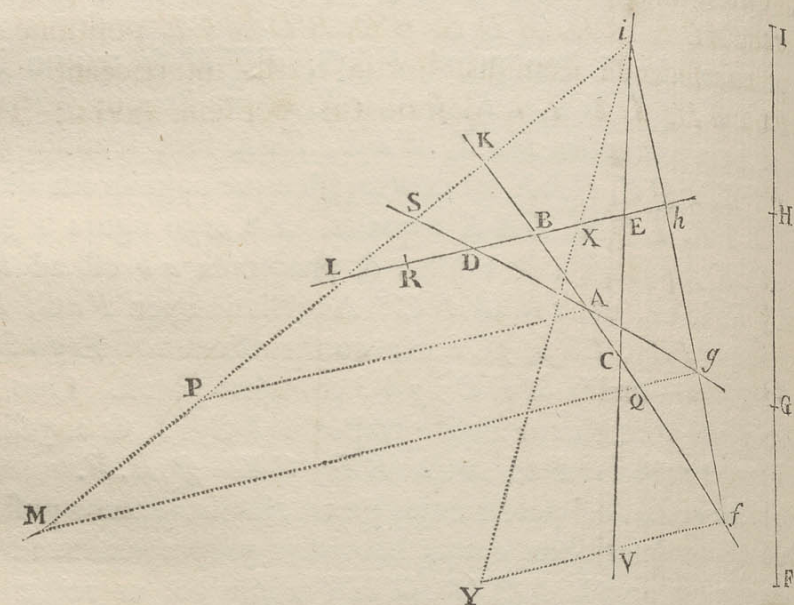
Secet enim  $Mg$  rectam  $AB$  in  $Q$ , &  $AD$  rectam  $KL$  in  $S$ , & agatur  $AP$  quæ sit ipsi  $BD$  parallela & occurrat  $iL$  in  $P$ , & erunt  $gM$  ad  $Lb$  ( $gi$  ad  $bi, Mi$  ad  $Li, GI$  ad  $HI, AK$  ad  $BK$ ) &  $AP$  ad



DE MOTU  
CORPORUM

DE MOYU  
CORPORUM

*AP* ad *BL* in eadem ratione. Secetur *DL* in *R* ut sit *DL* ad *RL* in eadem illa ratione, & ob proportionales *gS* ad *gM*, *AS* ad *AP*, & *DS* ad *DL*; erit, ex æquo, ut *gS* ad *Lb* ita *AS* ad *BL* & *DS* ad *RL*; & mixtim, *BL—RL* ad *Lb—BL* ut *AS—DS* ad *gS—AS*. Id est *BR* ad *Bb* ut *AD* ad *Ag*, ideoque ut *BD* ad *gQ*. Et vicissim *BR* ad *BD* ut *Bb* ad *gQ*, seu *fb* ad *fg*. Sed ex constructione linea *BL* eadem ratione secta fuit in *D* & *R* atque linea *FI* in *G* & *H*: ideoque est *BR* ad *BD* ut *FH* ad *FG*. Ergo



*f* *b* est ad *f* *g* ut *F* *H* ad *F* *G*. Cum igitur sit etiam *g* *i* ad *b* *i* ut *M* *i* ad *L* *i*, id est, ut *G* *I* ad *H* *I*, patet lineas *F* *I*, *f* *i* in *g* & *b*, *g* & *H* similiter sectas esse. Q. E. F.

In constructione corollarii hujus postquam ducitur  $LK$  secans  $CE$  in  $i$ , producere licet  $iE$  ad  $V$ , ut sit  $EV$  ad  $Ei$  ut  $FH$  ad  $HI$ , & agere  $Vf$  parallelam ipsi  $BD$ . Eodem recidit si centro  $i$ , intervallo  $IH$ , describatur circulus secans  $BD$  in  $X$ , & producat  $iX$  ad  $T$ , ut sit  $iT$  æqualis  $IF$ , & agatur  $Tf$  ipsi  $BD$  parallela.

Problematis hujus solutiones alias *Wrennus* & *Wallisus* olim excogitarunt.

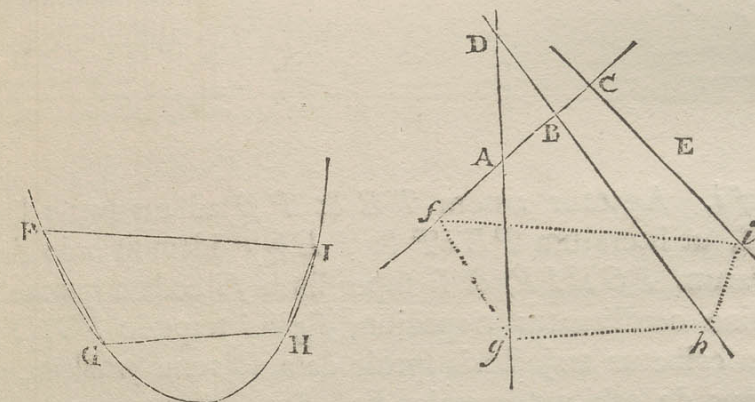
PROP.

LIBER  
PRIMUS.

PROPOSITIO XXIX. PROBLEMA XXI.

*Trajectoriam specie datam describere, quæ a rectis quatuor  
positione datis in partes secabitur, ordine, specie & propor-  
tione datas.*

Describenda sit trajectory, quæ similis sit lineæ curvæ  $FGHI$ , & cujus partes, illius partibus  $FG$ ,  $GH$ ,  $HI$  similes & proportionales, rectis  $AB$  &  $AD$ ,  $AD$  &  $BD$ ,  $BD$  &  $CE$  positione datis, prima primis, secunda secundis, tertia tertiis interjaceant. Actis rectis  $FG$ ,  $GH$ ,  $HI$ ,  $FI$ , describatur (per lem. xxvii.) Trape-



zium  $fgbi$  quod sit trapezio  $FGHI$  simile, & cujus anguli  $f, g, h, i$  tangent rectas illas positione datas  $AB, AD, BD, CE$ , singuli singulas dicto ordine. Dein circa hoc trapezium describatur trajectorya curvæ lineæ  $FGHI$  confimilis.

*Scholium.*

Construi etiam potest hoc problema ut sequitur. Junctis  $FG$ ,  $GH$ ,  $HI$ ,  $FI$  produc  $GF$  ad  $V$ , jungeque  $FH$ ,  $IG$ , & angulis  $FGH$ ,  $VFH$  fac angulos  $CAK$ ,  $DAL$  æquales. Concurrent  $AK$ ,  $AL$  cum recta  $BD$  in  $K$  &  $L$ , & inde agantur  $KM$ ,  $LN$ , quarum  $KM$  constituat angulum  $AKM$  æqualem angulo  $GHI$ , sitque ad  $AK$  ut est  $HI$  ad  $GH$ ; &  $LN$  constituat angulum  $ALN$  æqualem angulo  $FHI$ , sitque ad  $AL$  ut  $HI$  ad  $FH$ . Ducantur autem  $AK$ ,  $KM$







## L E M M A XXVIII.

*Nulla extat figura ovalis cujus area, rectis pro lubitu abscissa, possit per æquationes numero terminorum ac dimensionum finitas generaliter inveniri.*

Intra ovalem detur punctum quodvis, circa quod ceu polum revolvatur perpetuo linea recta, uniformi cum motu, & interea in recta illa exeat punctum mobile de polo, pergatque semper ea cum velocitate, quæ sit ut rectæ illius intra ovalem quadratum. Hoc motu punctum illud describet spiralem gyris infinitis. Jam si area ovalis a recta illa abscissæ portio per finitam æquationem inveniri potest, invenietur etiam per eandem æquationem distantia puncti a polo, quæ huic area proportionalis est, ideoque omnia spiralis puncta per æquationem finitam inveniri possunt: & propterea rectæ cujuscunque positione datæ intersectio cum spirali inveniri etiam potest per æquationem finitam. Atqui recta omnis infinite producta spiralem secatur in punctis numero infinitis, & æquatio, qua intersectio aliqua duarum linearum invenitur, exhibet earum intersectiones omnes radicibus totidem, ideoque ascendit ad tot dimensiones quot sunt intersectiones. Quoniam circuli duo se mutuo secant in punctis duobus, intersectio una non invenietur nisi per æquationem duarum dimensionum, qua intersectio altera etiam inveniat. Quoniam duarum sectionum conicarum quatuor esse possunt intersectiones, non potest aliqua earum generaliter inveniri nisi per æquationem quatuor dimensionum, qua omnes simul inveniantur. Nam si intersectiones illæ seorsim quærantur, quoniam eadem est omnium lex & conditio, idem erit calculus in casu unoquoque, & propterea eadem semper conclusio, quæ igitur debet omnes intersectiones simul completti & indifferenter exhibere. Unde etiam intersectiones sectionum conicarum & curvarum tertiæ potestatis, eo quod sex esse possunt, simul prodeunt per æquationes sex dimensionum, & intersectiones duarum curvarum tertiæ potestatis, quia novem esse possunt, simul prodeunt per æquationes dimensionum novem. Id nisi necessario fieret, reducere liceret problemata omnia solida ad plana, & plusquam solida ad solida. Loquor hic de curvis potestate

irre-

irreducibilibus. Nam si æquatio, per quam curva definitur, ad inferiorem potestatem reduci possit: curva non erit unica, sed ex duabus vel pluribus composita, quarum intersectiones per calculos diversos seorsim inveniri possunt. Ad eundem modum intersectiones binæ rectarum & sectionum conicarum prodeunt semper per æquationes duarum dimensionum, ternæ rectarum & curvarum irreducibilium tertiæ potestatis per æquationes trium, quaternæ rectarum & curvarum irreducibilium quartæ potestatis per æquationes dimensionum quatuor, & sic in infinitum. Ergo rectæ & spiralis intersectiones numero infinitæ, cum curva hæc sit simplex & in curvas plures irreducibilis, requirunt æquationes numero dimensionum & radicum infinitas, quibus intersectiones omnes possunt simul exhiberi. Est enim eadem omnium lex & idem calculus. Nam si a polo in rectam illam secantem demittatur perpendiculum, & perpendiculum illud una cum secante revolvatur circa polum, intersectiones spiralis transibunt in se mutuo, quæque prima erat seu proxima, post unam revolutionem secunda erit, post duas tertia, & sic deinceps: nec interea mutabitur æquatio nisi pro mutata magnitudine quantitatum per quas positio secantis determinatur. Unde cum quantitates illæ post singulas revolutiones redeunt ad magnitudines primas, æquatio redibit ad formam primam, ideoque una eademque exhibebit intersectiones omnes, & propterea radices habebit numero infinitas, quibus omnes exhiberi possunt. Nequit ergo intersectio rectæ & spiralis per æquationem finitam generaliter inveniri, & idcirco nulla extat ovalis cujus area, rectis imperatis abscissa, possit per talem æquationem generaliter exhiberi.

Eodem argumento, si intervallum poli & puncti, quo spiralis describitur, capiatur Ovalis perimetro abscissæ proportionale, probari potest quod longitudo perimetri nequit per finitam æquationem generaliter exhiberi. De ovalibus autem hic loquor quæ non tanguntur a figuris conjugatis in infinitum pergentibus.

## Corollarium.

Hinc area ellipseos, quæ radio ab umbilico ad corpus mobile ducto describitur, non prodit ex dato tempore, per æquationem finitam; & propterea per descriptionem curvarum geometricè rationalium determinari nequit. Curvas geometricè rationales appello qua-

P 2

rum

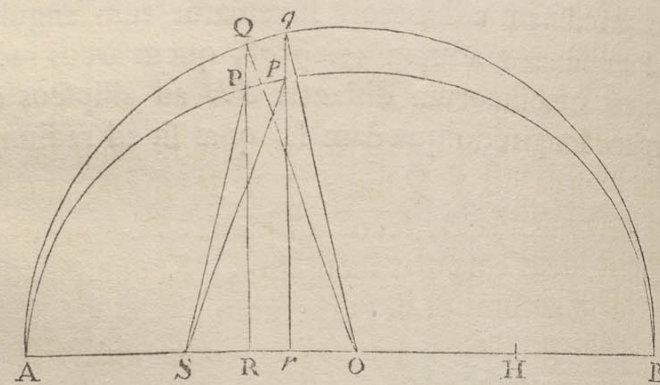






DE MOTU  
CORPORUM

tempus, quo corpus descripsit arcum  $Ap$ , ad tempus revolutionis unius in ellipsi. Sit angulus iste  $N$ . Tum capiatur & angulus  $D$  ad angulum  $B$ , ut est sinus iste anguli  $AOQ$  ad radium, & angulus  $E$  ad angulum  $N - AOQ + D$ , ut est longitudo  $L$  ad longitudinem eandem  $L$  cosinu anguli  $AOQ$  diminutam, ubi angulus iste recto minor est, auctam ubi major. Postea capiatur tum angulus  $F$  ad angulum  $B$ , ut est sinus anguli  $AOQ + E$  ad radium, tum angulus  $G$  ad angulum  $N - AOQ - E + F$  ut est longitudo  $L$  ad longitudinem eandem cosinu anguli  $AOQ + E$  diminutam ubi angulus iste recto minor est, auctam ubi major. Tertia vice capiatur angulus  $H$  ad angulum  $B$ , ut est sinus anguli  $AOQ + E + G$  ad radium; & angulus  $I$  ad angulum  $N - AOQ - E - G + H$ , ut est longitudo  $L$  ad eandem longitudinem cosinu anguli  $AOQ + E + G$  diminutam, ubi an-



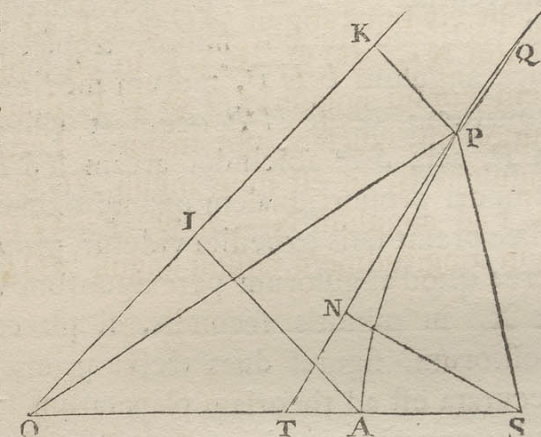
gulus iste recto minor est, auctam ubi major. Et sic pergere licet in infinitum. Denique capiatur angulus  $AOQ$  æqualis angulo  $AOQ + E + G + I + \&c.$  Et ex cosinu ejus  $Or$  & ordinata  $pr$ , quæ est ad sinum ejus  $qr$  ut ellipseos axis minor ad axem majorem, habebitur corporis locus correctus  $p$ . Si quando angulus  $N - AOQ + D$  negativus est, debet signum  $+$  ipsius  $E$  ubique mutari in  $-$ , & signum  $-$  in  $+$ . Idem intelligendum est de signis ipsorum  $G$  &  $I$ , ubi anguli  $N - AOQ - E + F$ , &  $N - AOQ - E - G + H$  negativi prodeunt. Convergit autem series infinita  $AOQ + E + G + I + \&c.$  quam celerime, adeo ut vix unquam opus fuerit ultra progredi quam ad terminum secundum  $E$ . Et fundatur calculus in hoc theoremate, quod area  $APS$  sit ut differentia inter arcum  $AQ$  & rectam ab umbilico  $S$  in radium  $OQ$  perpendiculariter demissam.

Non

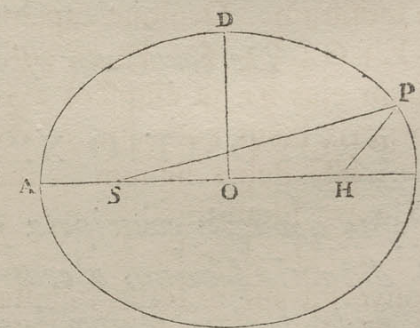
## PRINCIPIA MATHEMATICA.

LIBER  
PRIMUS.

Non dissimili calculo conficitur problema in hyperbola. Sit ejus centrum  $O$ , vertex  $A$ , umbilicus  $S$  & asymptotos  $OK$ . Cognoscatur quantitas areae abscindendæ tempori proportionalis. Sit ea  $A$ , & fiat conjectura de positione rectæ  $SP$ , quæ aream  $APS$  abscindat veræ proximam. Jungatur  $OP$ , & ab  $A$  &  $P$  ad asymptoton agantur  $AI$ ,  $PK$  asymptoto alteri parallelæ, & per tabulam logarithmorum dabitur area  $AIKP$ , eique æqualis area  $OPA$ , quæ subducta de triangulo  $OPS$  relinquet aream abscissam  $APS$ . Applicando areae abscindendæ  $A$  & abscissæ  $APS$  differentiam duplam  $2APS - 2A$  vel  $2A - 2APS$  ad lineam  $SN$ , quæ ab umbilico  $S$  in tangentem  $TP$  perpendicularis est, oriatur longitudo chordæ  $PQ$ . Inscrubatur autem chorda illa  $PQ$  inter  $A$  &  $P$ , si area abscissa  $APS$  major sit area abscindenda  $A$ , secus ad puncti  $P$  contrarias partes: & punctum  $Q$  erit locus corporis accuratior. Et computatione repetita invenietur idem accuratior in perpetuum.



Atque his calculis problema generaliter confit analytice. Verum usibus astronomicis accommodatior est calculus particularis qui sequitur. Existentibus  $AO$ ,  $OB$ ,  $OD$  semiaxibus ellipseos, &  $L$  ipsius latere recto, ac  $D$  differentia inter semiaxem minorem  $OD$  & lateris recti semissem  $\frac{1}{2}L$ ; quære tum angulum  $Y$ , cujus sinus sit ad radium ut est rectangulum sub differentia illa  $D$ , & semisumma axium  $AO + OD$  ad quadratum axis majoris  $AB$ ; tum angulum  $Z$ , cujus sinus sit ad radium ut est duplum rectangulum sub umbilicorum distantia  $SH$  & differentia illa  $D$  ad triplum quadratum semiaxis majoris  $AO$ . His angulis semel inventis; locus corporis sic deinceps determinabitur. Sume angulum  $T$  proportionalem tempori quo arcus  $BP$  descriptus est, seu motui medio (ut loquuntur) æqualem; & angulum  $V$ , primam





primam medii motus æquationem, ad angulum  $Y$ , æquationem maximam primam, ut est sinus dupli anguli  $T$  ad radium; atque angulum  $X$ , æquationem secundam, ad angulum  $Z$ , æquationem maximam secundam, ut est cubus sinus anguli  $T$  ad cubum radii. Angulorum  $T, V, X$  vel summæ  $T+X+V$ , si angulus  $T$  recto minor est, vel differentiæ  $T+X-V$ , si is recto major est rectisque duobus minor, æqualem cape angulum  $BHP$ , motum medium æquatum; & si  $HP$  occurrat ellipsi in  $P$ , acta  $SP$  abscindet aream  $BSP$  temporis proportionalem quamproxime. Hæc praxis satis expedita videtur, propterea quod angulorum perexiguorum  $V$  &  $X$ , in minutis secundis, si placet, positorum, figuras duas tresve primas invenire sufficit. Sed & satis accurata est ad theoriam planetarum. Nam in orbe vel Martis ipsius, cujus æquatio centri maxima est graduum decem, error vix superabit minutum unum secundum. Invento autem angulo motus medii æquati  $BHP$ , angulus veri motus  $BSP$  & distantia  $SP$  in promptu sunt per methodum notissimam.

Hactenus de motu corporum in lineis curvis. Fieri autem potest ut mobile recta descendat vel recta ascendat, & quæ ad istiusmodi motus spectant, pergo jam exponere.

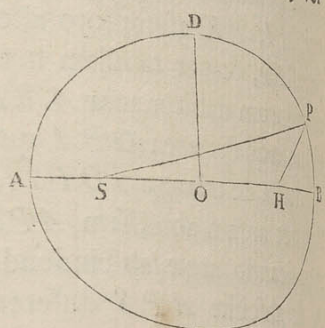
## SECTIO VII.

*De corporum ascensu & descensu rectilineo.*

## PROPOSITIO XXXII. PROBLEMA XXIV.

*Posito quod vis centripeta sit reciproce proportionalis quadrato distantie locorum a centro, spatia definire quæ corpus recta cadendo datis temporibus describit.*

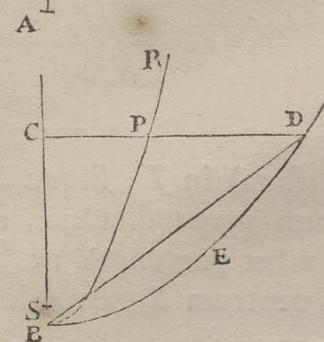
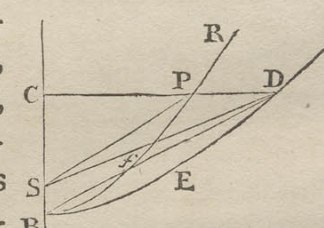
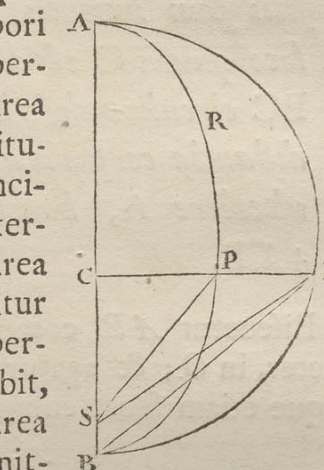
*Cas. 1.* Si corpus non cadit perpendiculariter, describet id (per corol. 1. prop. XIII.) sectionem aliquam conicam cujus umbilicus congruit cum centro virium. Sit sectio illa conica  $APB$  & umbilicus



bilicus ejus  $S$ . Et primo si figura ellipsis est; super hujus axe majore  $AB$  describatur semicirculus  $ADB$ , & per corpus decedens transeat recta  $DPC$  perpendicularis ad axem; actisque  $DS, PS$  erit area  $ASD$  area  $ASP$ , atque ideo etiam temporis proportionalis. Manente axe  $AB$  minuat perpetuo latitudo ellipseos, & semper manebit area  $ASD$  temporis proportionalis. Minuatur latitudo illa in infinitum: & orbe  $APB$  jam coincidente cum axe  $AB$  & umbilico  $S$  cum axis termino  $B$ , descendat corpus in recta  $AC$ , & area  $ABD$  evadet temporis proportionalis. Dabitur itaque spatium  $AC$ , quod corpus de loco  $A$  perpendiculariter cadendo tempore dato describit, si modo temporis proportionalis capiatur area  $ABD$ , & a puncto  $D$  ad rectam  $AB$  demittatur perpendicularis  $DC$ . *Q. E. I.*

*Cas. 2.* Si figura illa  $RPB$  hyperbola est, describatur ad eandem diametrum principalem  $AB$  hyperbola rectangula  $BED$ : & quoniam area  $CSP, CBfP, SPfB$  sunt ad areas  $CSD, CBED, SDEB$ , singulæ ad singulas, in data ratione altitudinum  $CP, CD$ ; & area  $SPfB$  proportionalis est temporis quo corpus  $P$  movebitur per arcum  $PfB$ ; erit etiam area  $SDEB$  eidem temporis proportionalis. Minuatur latus rectum hyperbolæ  $RPB$  in infinitum manente latere transverso, & coibit arcus  $PB$  cum recta  $CB$  & umbilicus  $S$  cum vertice  $B$  & recta  $SD$  cum recta  $BD$ . Proinde area  $BDEB$  proportionalis erit temporis quo corpus  $C$  recto descensu describit lineam  $CB$ . *Q. E. I.*

*Cas. 3.* Et simili argumento si figura  $RPB$  parabola est, & eodem vertice principali  $B$  describatur alia parabola  $BED$ , quæ semper maneat data, interea dum parabola prior, in cujus perimetro corpus  $P$  movetur, diminuto & in nihilum redacto ejus latere recto, conveniat cum linea  $CB$ ; fiet segmentum parabolicum  $BDEB$  proportionale temporis quo corpus illud  $P$  vel  $C$  descendat ad centrum  $S$  vel  $B$ . *Q. E. I.*



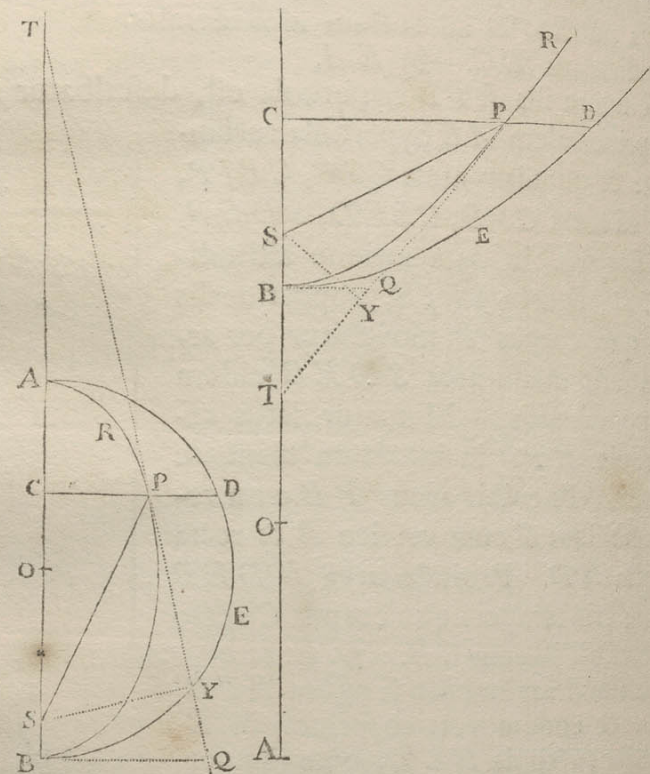
PROPO.



## PROPOSITIO XXXIII. THEOREMA IX.

Positis jam inventis, dico quod corporis cadentis velocitas in loco quovis C est ad velocitatem corporis centro B intervallo BC circum descriptis, in subduplicata ratione quam AC, distantia corporis a circuli vel hyperbolæ rectangulæ vertice ulteriore A, habet ad figuræ semidiametrum principalem  $\frac{1}{2}AB$ .

Bisecetur AB, communis utriusque figuræ RPB, DEB diameter, in O; & agatur recta PT, quæ tangat figuram RPB in P, atque etiam secet communem illam diametrum AB (si opus est pro-



ductam) in T; sitque ST ad hanc rectam, & BQ ad hanc diametrum perpendicularis, atque figuræ RPB latus rectum ponatur L. Constat per corol. ix. prop. xvi. quod corporis in linea RPB circa centrum S moventis velocitas in loco quovis P sit ad velocitatem corporis

corporis intervallo SP circa idem centrum circulum descriptis in subduplicata ratione rectanguli  $\frac{1}{2}L \times SP$  ad ST quadratum. Est autem ex conicis ACB ad CPQ ut 2 AO ad L, ideoque  $\frac{2CPQ \times AO}{ACB}$  æquale L. Ergo velocitates illæ sunt ad invicem in subduplicata ratione  $\frac{CPQ \times AO \times SP}{ACB}$  ad ST quad. Porro ex conicis est CO ad BO ut BO ad TO, & composite vel divisim ut CB ad BT. Unde vel dividendo vel componendo fit BO—vel +CO ad BO ut CT ad BT, id est, AC ad AO ut CP ad BQ; indeque  $\frac{CPQ \times AO \times SP}{ACB}$

æquale est  $\frac{BQq \times AC \times SP}{AO \times BC}$ . Minuatur jam in infinitum figuræ RPB latitudo CP, sic ut punctum P coeat cum puncto C, punctumque S cum puncto B, & linea SP cum linea BC, lineaque ST cum linea BQ; & corporis jam recta descendentis in linea CB velocitas fiet ad velocitatem corporis centro B intervallo BC circum descriptis, in subduplicata ratione ipsius  $\frac{BQq \times AC \times SP}{AO \times BC}$  ad STq, hoc est (neglectis æqualitatis rationibus SP ad BC & BQq ad STq) in subduplicata ratione AC ad AO five  $\frac{1}{2}AB$ . Q. E. D.

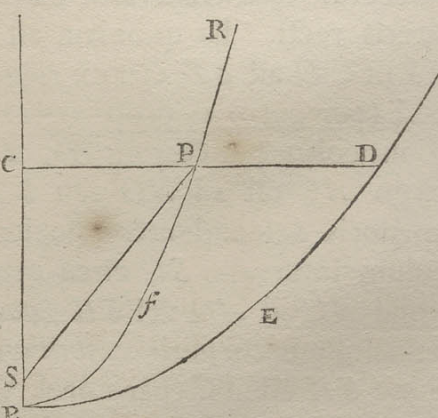
Corol. 1. Punctis B & S coeuntibus, fit TC ad TS ut AC ad AO.

Corol. 2. Corpus ad datam a centro distantiam in circulo quovis revolvens, motu suo sursum verso ascendet ad duplam suam a centro distantiam.

## PROPOSITIO XXIV. THEOREMA X.

Si figura BED parabola est, dico quod corporis cadentis velocitas in loco quovis C æqualis est velocitati qua corpus centro B diametro intervalli sui BC circum uniformiter describere potest.

Nam corporis parabolam RPB circa centrum S descriptis velocitas in loco quovis P (per corol. vii. B

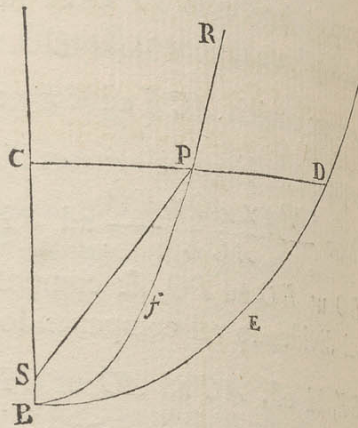


Q 2

prop.



prop. xvi.) æqualis est velocitati corporis dimidio intervalli  $SP$  circum circa idem centrum  $S$  uniformiter describentis. Minuatur parabolæ latitudo  $CP$  in infinitum eo, ut arcus parabolicus  $PfB$  cum recta  $CB$ , centrum  $S$  cum vertice  $B$ , & intervallum  $SP$  cum intervallo  $BC$  coincidat, & constabit propositio. *Q. E. D.*



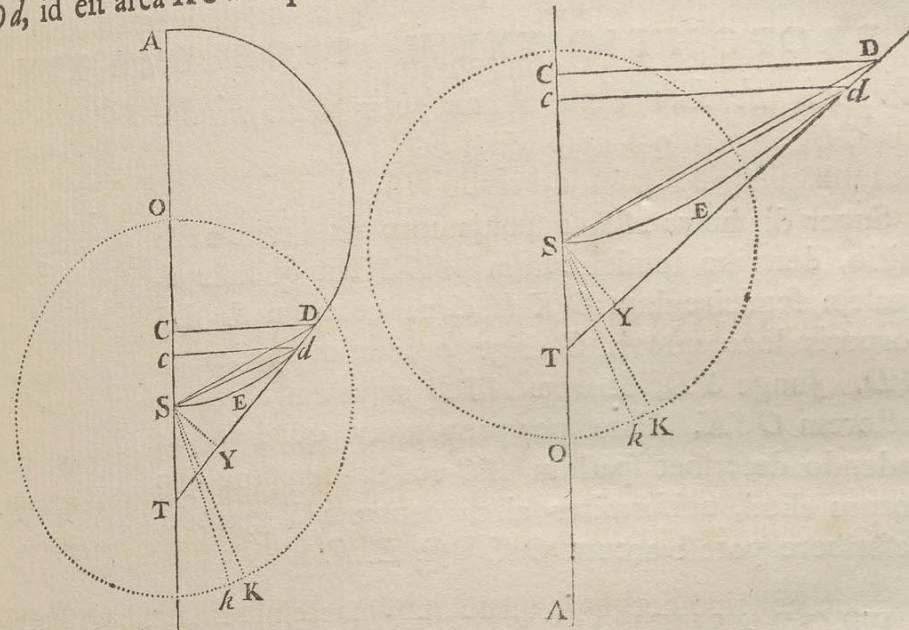
PROPOSITIO XXXV. THEOREMA XI.

*Isdem positis, dico quod area figuræ DES, radio indefinito SD descripta, æqualis sit areæ quam corpus, radio dimidium lateris recti figuræ DES æquante, circa centrum S uniformiter gyrando, eodem tempore describere potest.*

Nam concipe corpus  $C$  quam minima temporis particula lineolam  $Cc$  cadendo describere, & interea corpus aliud  $K$ , uniformiter in circulo  $OKk$  circa centrum  $S$  gyrando, arcum  $Kk$  describere. Erigantur perpendiculara  $CD$ ,  $cd$  occurrentia figuræ  $DES$  in  $D$ ,  $d$ . Jungantur  $SD$ ,  $sd$ ,  $SK$ ,  $Sk$  & ducatur  $Dd$  axi  $AS$  occurrens in  $T$ , & ad eam demittatur perpendicularum  $ST$ .

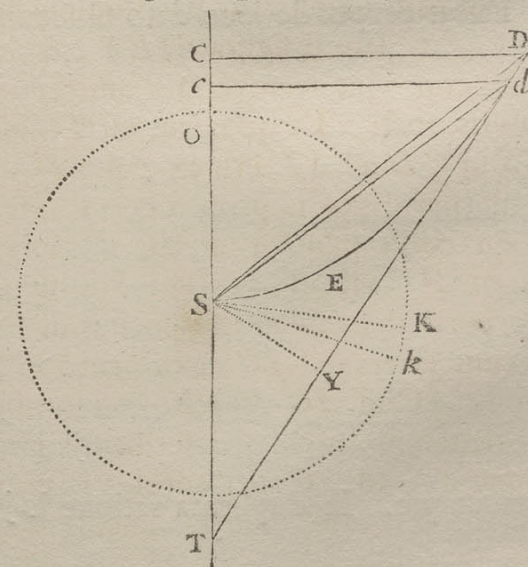
*Cas. 1.* Jam si figura  $DES$  circulus est vel hyperbola rectangula, bisecetur ejus transversa diameter  $AS$  in  $O$ , & erit  $SO$  dimidium lateris recti. Et quoniam est  $TC$  ad  $TD$  ut  $Cc$  ad  $Dd$ , &  $TD$  ad  $TS$  ut  $CD$  ad  $ST$ , erit ex æquo  $TC$  ad  $TS$  ut  $CD$  ad  $ST$ . Sed (per corol. 1. prop. xxxiii.) est  $TC$  ad  $TS$  ut  $AC$  ad  $AO$ , puta si in coitu punctorum  $D$ ,  $d$  capiantur linearum rationes ultimæ. Ergo  $AC$  est ad  $AO$  seu  $SK$  ut  $CD$  ad  $ST$ . Porro corporis descendentis velocitas in  $C$  est ad velocitatem corporis circum intervallo  $SC$  circa centrum  $S$  describentis in subduplicata ratione  $AC$  ad  $AO$  vel  $SK$  (per prop. xxxiii.) Et hæc velocitas ad velocitatem corporis describentis circum  $OKk$  in subduplicata ratione  $SK$  ad  $SC$  (per corol. vi. prop. iv.) & ex æquo velocitas prima ad ultimam, hoc est lineola  $Cc$  ad arcum  $Kk$  in subduplicata ratione

ratione  $AC$  ad  $SC$ , id est in ratione  $AC$  ad  $CD$ . Quare est  $CD \times Cc$  æquale  $AC \times Kk$ , & propterea  $AC$  ad  $SK$  ut  $AC \times Kk$  ad  $ST \times Dd$ , indeque  $SK \times Kk$  æquale  $ST \times Dd$ , &  $\frac{1}{2} SK \times Kk$  æquale  $\frac{1}{2} ST \times Dd$ , id est area  $KS k$  æqualis areæ  $SD d$ . Singulis igitur temporis



particulis generantur arearum duarum particulæ  $KS k$ , &  $SD d$ , quæ, si magnitudo earum minuatur & numerus augeatur in infinitum, rationem obtinent æqualitatis, & propterea (per corollarium lemmatis iv.) areæ totæ simul genitæ sunt semper æquales. *Q. E. D.*

*Cas. 2.* Quod si figura  $DES$  parabola sit, invenietur esse ut supra  $CD \times Cc$  ad  $ST \times Dd$  ut  $TC$  ad  $TS$ , hoc est ut 2 ad 1, ideoque  $\frac{1}{2} CD \times Cc$  æquale esse  $\frac{1}{2} ST \times Dd$ . Sed corporis cadentis velocitas in  $C$  æqualis est velocitati qua circulus intervallo  $\frac{1}{2} SC$  uniformiter describi possit (per prop. xxxiv.) Et hæc velocitas ad velocitatem qua circulus radio  $SK$  describi possit, hoc est, lineola  $Cc$  ad arcum  $Kk$  (per corol. vi.



prop.

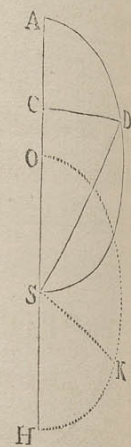


prop. iv.) est in subduplicata ratione  $SK$  ad  $\frac{1}{2}SC$ , id est, in ratione  $SK$  ad  $\frac{1}{2}CD$ . Quare est  $\frac{1}{2}SK \times Kk$  æquale  $\frac{1}{2}CD \times Cc$ , ideoque æquale  $\frac{1}{2}ST \times Dd$ , hoc est, area  $KSk$  æqualis areæ  $SDd$ , ut supra  $Q. E. D.$

## PROPOSITIO XXXVI. PROBLEMA XXV.

*Corporis de loco dato A cadentis determinare tempora descensus.*

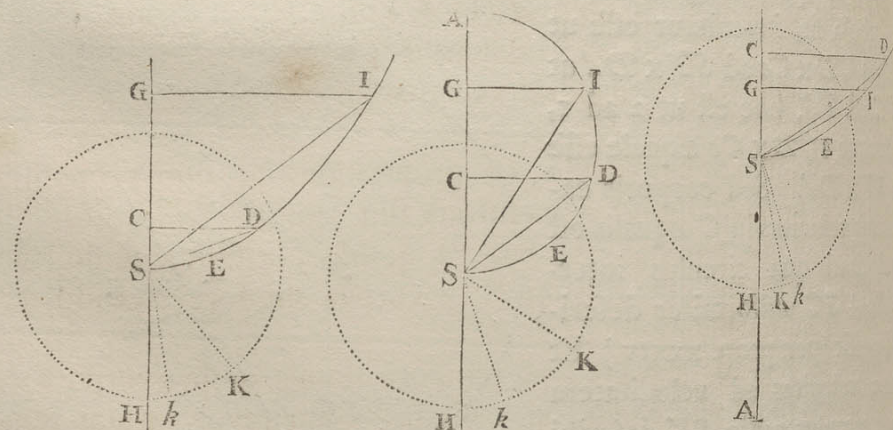
Super diametro  $AS$ , distantia corporis a centro sub initio, describe semicirculum  $ADS$ , ut & huic æqualem semicirculum  $OKH$  circa centrum  $S$ . De corporis loco quovis  $C$  erige ordinatim applicatam  $CD$ . Junge  $SD$ , & areæ  $ASD$  æqualem constitue sectorem  $OSK$ . Patet per prop. xxxv. quod corpus cadendo describet spatium  $AC$  eodem tempore quo corpus aliud, uniformiter circa centrum  $S$  gylando, describere potest arcum  $OK$ .  $Q. E. F.$



## PROPOSITIO XXXVII. PROBLEMA XXVI.

*Corporis de loco dato sursum vel deorsum projecti definire tempora ascensus vel descensus.*

Exeat corpus de loco dato  $G$  secundum lineam  $GS$  cum velocitate



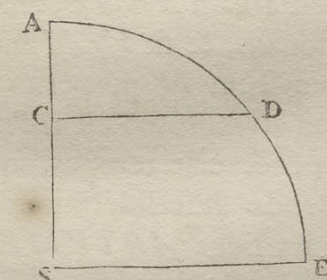
quacunque. In duplicata ratione hujus velocitatis ad uniformem in circulo

circulo velocitatem, qua corpus ad intervallum datum  $SG$  circa centrum  $S$  revolvi posset, cape  $GA$  ad  $\frac{1}{2}AS$ . Si ratio illa est numeri binarii ad unitatem, punctum  $A$  infinite distat, quo casu parabola vertice  $S$ , axe  $SG$ , latere quovis recto describenda est. Patet hoc per prop. xxxiv. Sin ratio illa minor vel major est quam 2 ad 1, priore casu circulus, posteriore hyperbola rectangula super diametro  $SA$  describi debet. Patet per prop. xxxiii. Tum centro  $S$ , intervallo æquante dimidium lateris recti, describatur circulus  $HkK$ , & ad corporis descendentis vel ascendentis locum  $G$ , & locum alium quemvis  $C$ , erigantur perpendiculara  $GI$ ,  $CD$  occurrentia conicæ sectioni vel circulo in  $I$  ac  $D$ . Dein junctis  $SI$ ,  $SD$ , fiant segmentis  $SEIS$ ,  $SED$  sectores  $HSK$ ,  $HSk$  æquales, & per prop. xxxv. corpus  $G$  describet spatium  $GC$  eodem tempore quo corpus  $K$  describere potest arcum  $Kk$ .  $Q. E. F.$

## PROPOSITIO XXXVIII. THEOREMA XII.

*Posito quod vis centripeta proportionalis sit altitudini seu distantie locorum a centro, dico quod cadentium tempora, velocitates & spatia descripta sunt arcubus, arcuumque finibus rectis & sinibus versis respective proportionalia.*

Cadat corpus de loco quovis  $A$  secundum rectam  $AS$ ; & centro virium  $S$ , intervallo  $AS$ , describatur circuli quadrans  $AE$ , sitque  $CD$  sinus rectus arcus cujusvis  $AD$ ; & corpus  $A$ , tempore  $AD$ , cadendo describit spatium  $AC$ , inque loco  $C$  acquirat velocitatem  $CD$ .



Demonstratur eodem modo ex propositione x, quo propositio xxxii, ex propositione xi demonstrata fuit.

*Corol. 1.* Hinc æqualia sunt tempora, quibus corpus unum de loco  $A$  cadendo pervenit ad centrum  $S$ , & corpus aliud revolvendo describit arcum quadrantalem  $ADE$ .

*Corol. 2.* Proinde æqualia sunt tempora omnia quibus corpora de locis quibuscumque ad usque centrum cadunt. Nam revolvendum tempora omnia periodica (per corol. iii. prop. iv.) æquantur.

PROPO.

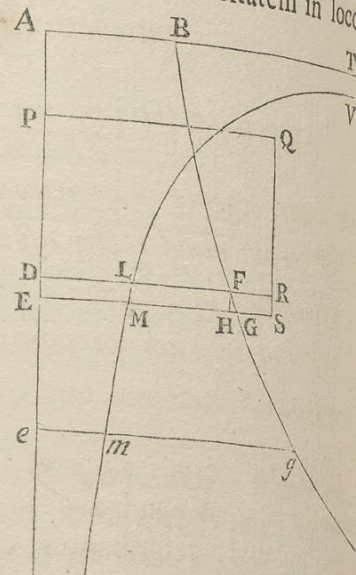






*Corol. 2.* Unde si corpus quodlibet de loco quocunque  $D$  data cum velocitate vel sursum vel deorsum projiciatur, & detur lex vis centripetæ, inveniatur velocitas ejus in alio quovis loco  $e$ , erigendo ordinatam  $eg$ , & capiendo velocitatem illam ad velocitatem in loco  $D$  ut est recta, quæ potest rectangulum  $PQRD$  area curvilinea  $DFge$  vel auctum, si locus  $e$  est loco  $D$  inferior, vel diminutum, si is superior est, ad rectam quæ potest rectangulum solum  $PQRD$ .

*Corol. 3.* Tempus quoque innotescet erigendo ordinatam  $em$  reciproce proportionalem lateri quadrato ex  $PQRD$  vel  $DFge$ , & capiendo tempus quo corpus descripsit lineam  $De$  ad tempus quo corpus alterum vi uniformi cecidit a  $P$  & cadendo pervenit ad  $D$ , ut area curvilinea  $DLme$  ad rectangulum  $2PD \times DL$ . Namque tempus quo corpus vi uniformi descendens descripsit lineam  $PD$  est ad tempus quo corpus idem descripsit lineam  $PE$  in subduplicata ratione  $PD$  ad  $PE$ , id est (lineola  $DE$  jamjam nascente) in ratione  $PD$  ad  $PD + \frac{1}{2}DE$  seu  $2PD$  ad  $2PD + DE$ , & divisim, ad tempus quo corpus idem descripsit lineolam  $DE$  ut  $2PD$  ad  $DE$ , ideoque ut rectangulum  $2PD \times DL$  ad aream  $DLME$ ; estque tempus quo corpus utrumque descripsit lineolam  $DE$  ad tempus quo corpus alterum inæquali motu descripsit lineam  $De$ , ut area  $DLME$  ad aream  $DLme$ , & ex æquo tempus primum ad tempus ultimum ut rectangulum  $2PD \times DL$  ad aream  $DLme$ .



SECTIO

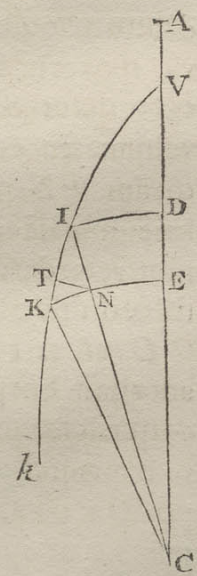
SECTIO VIII.

*De inventione orbium in quibus corpora viribus quibuscunque centripetis agitata revolvuntur.*

PROPOSITIO XL. THEOREMA. XIII.

*Si corpus, cogente vi quacunque centripeta, moveatur utcunque, & corpus aliud recta ascendat vel descendat, sintque eorum velocitates in aliquo æqualium altitudinum casu æquales, velocitates eorum in omnibus æqualibus altitudinibus erunt æquales.*

Descendat corpus aliquod ab  $A$  per  $D$ ,  $E$ , ad centrum  $C$ , & moveatur corpus aliud a  $V$  in linea curva  $VIKk$ . Centro  $C$  intervallis quibuscunque describantur circuli concentrici  $DI$ ,  $EK$  rectæ  $AC$  in  $D$  &  $E$ , curvæque  $VIK$  in  $I$  &  $K$  occurrentes. Jungatur  $IC$  occurrens ipsi  $KE$  in  $N$ ; & in  $IK$  demittatur perpendicularum  $NT$ ; sitque circumferentiarum circularum intervallum  $DE$  vel  $IN$  quam minimum, & habeant corpora in  $D$  &  $I$  velocitates æquales. Quoniam distantia  $CD$ ,  $CI$  æquantur, erunt vires centripetæ in  $D$  &  $I$  æquales. Exponantur hæ vires per æquales lineolas  $DE$ ,  $IN$ ; & si vis una  $IN$  (per legem corol. 2.) resolvatur in duas  $NT$  &  $IT$ , vis  $NT$ , agendo secundum lineam  $NT$  corporis cursui  $ITK$  perpendicularem, nil mutabit velocitatem corporis in cursu illo, sed retrahet solummodo corpus a cursu rectilineo, facietque ipsum de orbis tangente perpetuo defletere, inque via curvilinea  $ITKk$  progredi. In hoc effectu producendo vis illa tota consumetur: vis autem altera  $IT$ , secundum corporis cursum agendo, tota accelerabit illud, ac dato tempore quam minimo accelerationem generabit sibi ipsi proportionalem. Proinde corporum in  $D$  &  $I$  accelerationes æqualibus temporibus factæ (si



R 2

fumantur



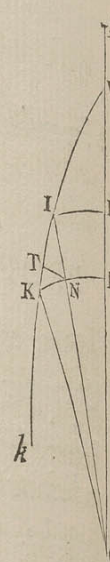
sumantur linearum nascentium  $DE$ ,  $IN$ ,  $IK$ ,  $IT$ ,  $NT$  rationes primæ) sunt ut lineæ  $DE$ ,  $IT$ : temporibus autem inæqualibus ut lineæ illæ & tempora conjunctim. Tempora autem quibus  $DE$  &  $IK$  describuntur, ob æqualitatem velocitatum sunt ut viæ descriptæ  $DE$  &  $IK$ , ideoque accelerationes, in cursu corporum per lineas  $DE$  &  $IK$ , sunt ut  $DE$  &  $IT$ ,  $DE$  &  $IK$  conjunctim, id est ut  $DE$  quad. &  $IT \times IK$  rectangulum. Sed rectangulum  $IT \times IK$  æquale est  $IN$  quadrato, hoc est, æquale  $DE$  quad. & propterea accelerationes in transitu corporum a  $D$  &  $I$  ad  $E$  &  $K$  æquales generantur. Æquales igitur sunt corporum velocitates in  $E$  &  $K$ : & eodem argumento semper reperientur æquales in subsequentibus æqualibus distantis. Q. E. D.

Sed & eodem argumento corpora æquavelocia & æqualiter a centro distantia, in ascensu ad æquales distantias æqualiter retardabuntur. Q. E. D.

Corol. 1. Hinc si corpus vel oscilletur pendens a filo, vel impedimento quovis politissimo & perfecte lubrico cogatur in linea curva moveri, & corpus aliud recta ascendat vel descendat, sintque velocitates eorum in eadem quacunque altitudine æquales: erunt velocitates eorum in aliis quibuscunque æqualibus altitudinibus æquales. Namque corporis penduli filo vel impedimento vasis absolute lubrici idem præstatur quod vi transversa  $NT$ . Corpus eo non retardatur, non acceleratur, sed tantum cogitur de cursu rectilineo discedere.

Corol. 2. Hinc etiam si quantitas  $P$  sit maxima a centro distantia ad quam corpus vel oscillans vel in trajectory quacunque revolvens, deque quovis trajectory puncto, ea quam ibi habet velocitate sursum projectum ascendere possit; sitque quantitas  $A$  distantia corporis a centro in alio quovis orbitæ puncto, & vis centripeta semper sit ut ipsius  $A$  dignitas quælibet  $A^{n-1}$ , cujus index  $n-1$  est numerus quilibet  $n$  unitate diminutus; velocitas corporis in omni altitudine  $A$  erit ut  $\sqrt{P-A^n}$ , atque ideo datur. Namque velocitas recta ascendentis ac descendentis (per prop. xxxix) est in hac ipsa ratione.

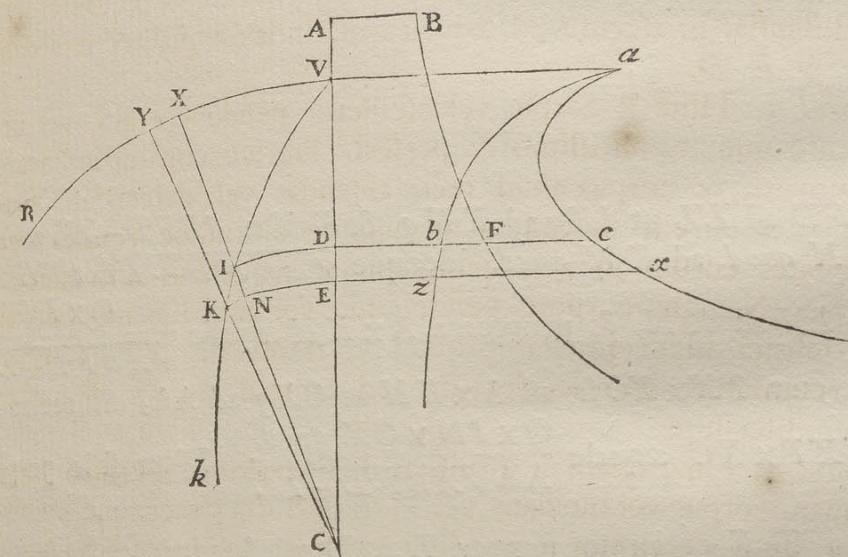
PROPO.



## PROPOSITIO XLI. PROBLEMA XXVIII.

Posita cujuscunque generis vi centripeta & concessis figurarum curvilinearum quadraturis, requiruntur tum trajectory in quibus corpora movebuntur, tum tempora motuum in trajectory inventis.

Tendat vis quælibet ad centrum  $C$  & invenienda sit trajectory  $VIKk$ . Detur circulus  $VR$  centro  $C$  intervallo quovis  $CV$  descriptus, centroque eodem describantur alii quivis circuli  $ID$ ,  $KE$  trajectoryam secantes in  $I$  &  $K$  rectamque  $CV$  in  $D$  &  $E$ . Age tum rectam  $CNIX$  secantem circulos  $KE$ ,  $VR$  in  $N$  &  $X$ , tum rectam  $CKT$  occurrentem circulo  $VR$  in  $T$ . Sint autem puncta  $I$  &  $K$  sibi invicem vicinissima, & pergat corpus ab  $V$  per  $I$  &  $K$

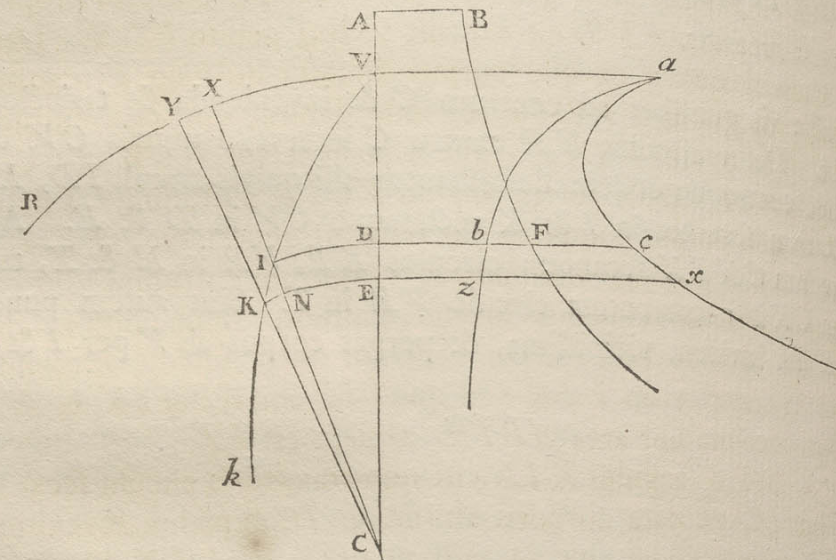


ad  $k$ ; sitque punctum  $A$  locus ille de quo corpus aliud cadere debet, ut in loco  $D$  velocitatem acquirat æqualem velocitati corporis prioris in  $I$ . Et stantibus quæ in propositione xxxix, lineola  $IK$ , dato tempore quam minimo descripta, erit ut velocitas, atque ideo ut recta quæ potest aream  $ABFD$ , & triangulum  $ICK$  tempori proportionale dabitur, ideoque  $KN$  erit reciproce ut altitudo  $IC$ , id



DE MOTU  
CORPORUM

id est, si detur quantitas aliqua  $Q$ , & altitudo  $IC$  nominetur  $A$ , ut  
 $\frac{Q}{A}$  Hanc quantitatem  $\frac{Q}{A}$  nominemus  $Z$ , & ponamus eam esse mag-  
nitudinem ipsius  $Q$  ut sit in aliquo casu  $\sqrt{ABFD}$  ad  $Z$  ut est  $IK$   
ad  $KN$ , & erit in omni casu  $\sqrt{ABFD}$  ad  $Z$  ut  $IK$  ad  $KN$ , &



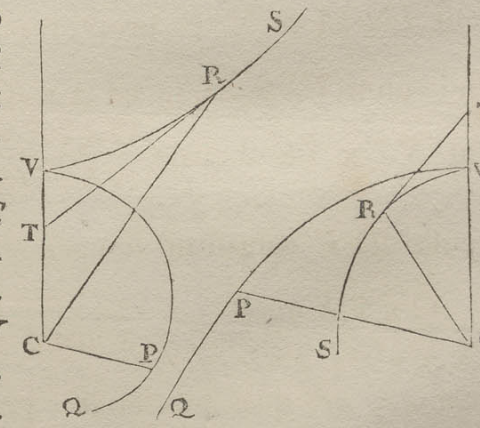
$ABFD$  ad  $ZZ$  ut  $IK$  ad  $KN$ , & divisim  $ABFD-ZL$  ad  $ZZ$   
ut  $IN$  quad. ad  $KN$  quad. ideoque  $\sqrt{ABFD-ZL}$  ad  $Z$  seu  
 $\frac{Q}{A}$  ut  $IN$  ad  $KN$ , & propterea  $A \times KN$  æquale  $\frac{Q \times IN}{\sqrt{ABFD-ZL}}$   
Unde cum  $TX \times XC$  sit ad  $A \times KN$  ut  $CX$  ad  $AA$ , erit rectangu-  
lum  $TX \times XC$  æquale  $\frac{Q \times IN \times CX}{AA \sqrt{ABFD-ZL}}$  Igitur si in perpen-  
diculo  $DF$  capiantur semper  $Db, Dc$  ipsis  $\frac{Q}{2 \sqrt{ABFD-ZL}}$   
 $\frac{Q \times CX \text{ quad.}}{2 AA \sqrt{ABFD-ZL}}$  æquales respectue, & describantur curvæ  
lineæ  $ab, ac$ , quas puncta  $b, c$  perpetuo tangunt; deque puncto  $V$   
ad lineam  $AC$  erigatur perpendicularum  $Va$  abscindens areas curvili-  
neas  $VDb, VDc$ , & erigantur etiam ordinatæ  $Ez, Ex$ : quo-  
niam rectangulum  $Db \times IN$  seu  $DbzE$  æquale est dimidio rectan-  
guli

guli  $A \times KN$  seu triangulo  $ICK$ ; & rectangulum  $Dc \times IN$  seu  
 $Dc \times E$  æquale est dimidio rectanguli  $TX \times XC$  seu triangulo  
 $XCT$ ; hoc est, quoniam arearum  $VDb, VIC$  æquales semper  
sunt nascentes particulæ  $DbzE, ICK$ , & arearum  $VDc, VCX$   
æquales semper sunt nascentes particulæ  $Dc \times E, XCT$ , erit area  
genita  $VDb$  æqualis areæ genitæ  $VIC$ , ideoque tempori propor-  
tionalis, & area genita  $VDc$  æqualis sectori genito  $VCX$ . Dato  
igitur tempore quovis ex quo corpus discessit de loco  $V$ , dabitur  
area ipsi proportionalis  $VDb$ , & inde dabitur corporis altitudo  
 $CD$  vel  $CI$ ; & area  $VDc$ , eique æqualis sector  $VCX$  una cum  
ejus angulo  $VCI$ . Datis autem angulo  $VCI$  & altitudine  $CI$  datur  
locus  $I$ , in quo corpus completo illo tempore reperietur. *Q. E. I.*

*Corol. 1.* Hinc maximæ minimæque corporum altitudines, id est,  
apsides trajectoriarum expedite inveniri possunt. Sunt enim apsides  
puncta illa in quibus recta  $IC$  per centrum ducta incidit perpendi-  
culariter in trajectoriam  $VIK$ : id quod fit ubi rectæ  $IK$  &  $NK$   
æquantur, ideoque ubi area  $ABFD$  æqualis est  $ZZ$ .

*Corol. 2.* Sed & angulus  $KIN$ , in quo trajectoria alicubi secat li-  
neam illam  $IC$ , ex data corporis altitudine  $IC$  expedite invenitur;  
nimirum capiendo sinum ejus ad radium ut  $KN$  ad  $IK$ , id est, ut  
 $Z$  ad latus quadratum areæ  $ABFD$ .

*Corol. 3.* Si centro  $C$  & vertice principali  $V$  describatur sectio  
qualibet conica  $VRS$ , & a quovis ejus puncto  $R$  agatur tangens  
 $RT$  occurrens axi infinitæ productæ  $CV$  in puncto  $T$ ; dein juncta  $CR$   
ducatur recta  $CP$ , quæ æqualis sit abscissæ  $CT$ , angulumque  $VCP$  se-  
ctori  $VCR$  proportionalem constituat; tendat autem ad centrum  $C$   
vis centripeta cubo distantiae loco-  
rum a centro reciproce proportio-  
nalis, & exeat corpus de loco  $V$   
iuxta cum velocitate secundum line-  
am rectæ  $CV$  perpendicularem: pro-  
greditur corpus illud in trajectoria  $VPQ$  quam punctum  $P$  per-  
petuo tangit; ideoque si conica sectio  $VRS$  hyperbola sit, descen-  
det idem ad centrum: Sin ea ellipsis sit, ascendet illud perpetuo &  
abibit

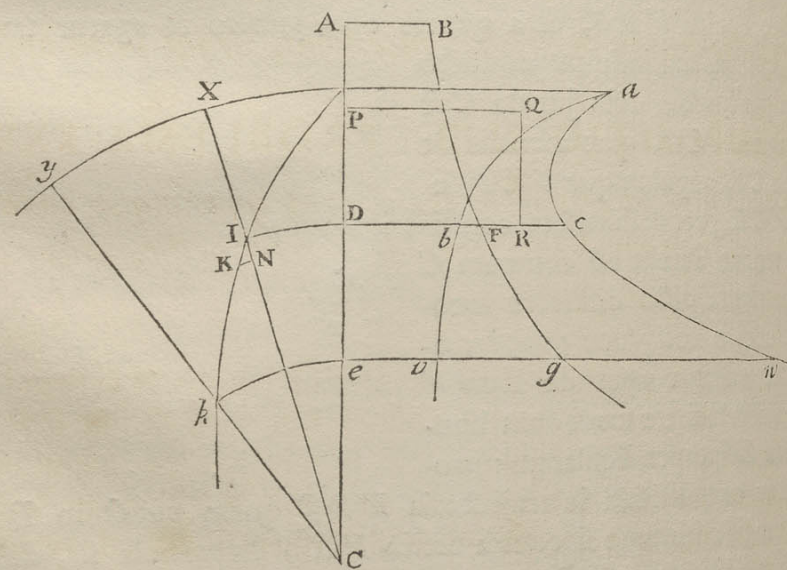




abibit in infinitum. Et contra, si corpus quacunque cum velocitate exeat de loco  $V$ , & perinde ut incœperit vel oblique descendere ad centrum, vel ab eo oblique ascendere, figura  $VRS$  vel hyperbola sit vel ellipsis, inveniri potest trajectory augendo vel minuendo angulum  $VCP$  in data aliqua ratione. Sed &, vi centripeta in centrifugam versa, ascendet corpus oblique in trajectory  $VPQ$ , quæ invenitur capiendū angulum  $VCP$  sectori elliptico  $VR C$  proportionalem, & longitudinem  $CP$  longitudini  $CT$  æqualem ut supra. Consequuntur hæc omnia ex propositione præcedente, per curvæ cujusdam quadraturam, cujus inventionem, ut satis facilem, brevitatis gratia missam facio.

## PROPOSITIO XLII. PROBLEMA XXIX.

*Data lege vis centripetæ, requiritur motus corporis de loco dato, data cum velocitate, secundum datam rectam egressi.*  
Stantibus quæ in tribus propositionibus præcedentibus: exeat



corpus de loco  $I$  secundum lineolam  $IK$ , ea cum velocitate quam corpus

corpus aliud, vi aliqua uniformi centripeta, de loco  $P$  cadendo acquirere posset in  $D$ : sitque hæc vis uniformis ad vim, qua corpus primum urgetur in  $I$ , ut  $DR$  ad  $DF$ . Pergat autem corpus versus  $k$ ; centroque  $C$  & intervallo  $Ck$  describatur circulus  $ke$  occurrens rectæ  $PD$  in  $e$ , & erigantur curvarum  $Bfg$ ,  $abv$ ,  $acw$  ordinatim applicatæ  $eg$ ,  $ev$ ,  $ew$ . Ex dato rectangulo  $PDRQ$ , dataque lege vis centripetæ qua corpus primum agitur, datur curva linea  $Bfg$ , per constructionem problematis xxvii, & ejus corol. i. Deinde ex dato angulo  $CIK$  datur proportio nascentium  $IK$ ,  $KN$ , & inde, per constructionem prob. xxviii, datur quantitas  $Q$ , una cum curvis lineis  $abv$ ,  $acw$ : ideoque, completo tempore quovis  $Dbe$ , datur tum corporis altitudo  $Ce$  vel  $Ck$ , tum area  $Dcwe$ , eique æqualis sector  $YCy$ , angulusque  $ICK$ , & locus  $k$  in quo corpus tunc versabitur. *Q. E. I.*

Supponimus autem in his propositionibus vim centripetam in recessu quidem a centro variari secundum legem quamcunque, quam quis imaginari potest, in æqualibus autem a centro distantis esse undique eandem. Atque hætenus motum corporum in orbibus immobilibus consideravimus. Superest ut de motu eorum in orbibus, qui circa centrum virium revolvuntur, adjiciamus pauca.

## SECTIO IX.

*De motu corporum in orbibus mobilibus, deque motu apsidum.*

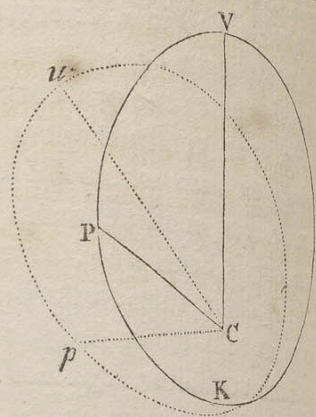
## PROPOSITIO XLIII. PROBLEMA XXX.

*Efficiendum est ut corpus in trajectory quacunque circa centrum virium revolvente perinde moveri possit, atque corpus aliud in eadem trajectory quiescente.*

In orbe  $VPK$  positione dato revolvatur corpus  $P$  pergendo a  $V$  versus  $K$ . A centro  $C$  agatur semper  $Cp$ , quæ sit ipsi  $CP$  æqualis, angulumque  $VCP$  angulo  $VCP$  proportionalem constituat; & area, quam linea  $Cp$  describit, erit ad aream  $VCP$ , quam linea  $CP$  simul describit, ut velocitas lineæ describentis  $Cp$  ad velocitatem lineæ describentis  $CP$ ; hoc est, ut angulus  $VCP$  ad angulum  $VCP$ , ideoque



ideoque in data ratione, & propterea temporis proportionalis. Cum area temporis proportionalis sit quam linea  $Cp$  in plano immobili centripeta, revolvi possit una cum puncto  $p$  in curva illa linea quam punctum idem  $p$  ratione jam exposita describit in plano immobili. Fiat angulus  $Vcu$  angulo  $PCp$ , & linea  $Cu$  lineæ  $CV$ , atque figura  $uCP$  figuræ  $VCP$  æqualis, & corpus in  $p$  semper existens movebitur in perimetro figuræ revolventis  $uCP$ , eodemque tempore describet arcum ejus  $up$  quo corpus aliud  $P$  arcum ipsi similem & æqualem  $VP$  in figura quiescente  $VPK$  describere potest. Quærat igitur, per corollarium quintum propositionis VI, vis centripeta qua corpus revolvi possit in curva illa linea quam punctum  $p$  describit in plano immobili, & solvetur problema. Q. E. F.

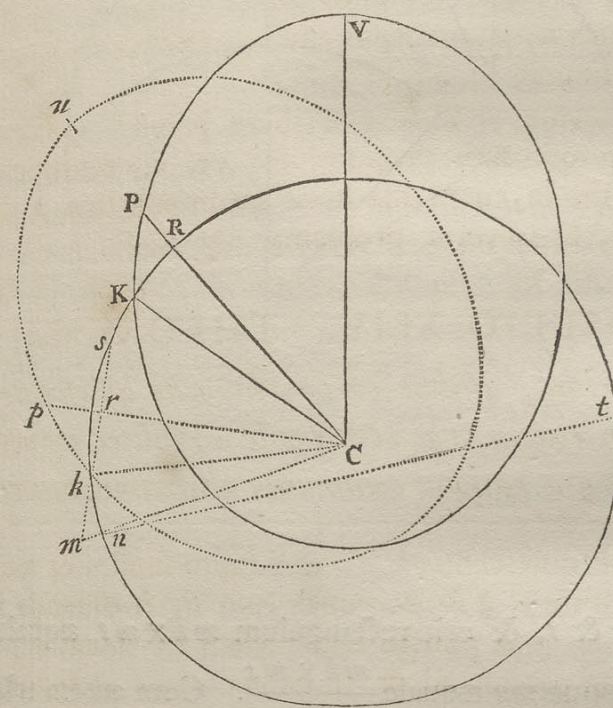


PROPOSITIO XLIV. THEOREMA XIV.

*Differentia virium, quibus corpus in orbe quiescente, & corpus aliud in eodem orbe revolvente æqualiter moveri possunt, est in triplicata ratione communis altitudinis inverse.*

Partibus orbis quiescentis  $VP$ ,  $PK$  funto similes & æquales orbis revolventis partes  $up$ ,  $pk$ ; & punctorum  $P$ ,  $K$  distantia intelligatur esse quam minima. A puncto  $k$  in rectam  $pC$  demitte perpendicularum  $kr$ , idemque produc ad  $m$ , ut sit  $mr$  ad  $kr$  ut angulus  $VCP$  ad angulum  $VCP$ . Quoniam corporum altitudines  $PC$  &  $pC$ ,  $KC$ , &  $kC$  semper æquantur, manifestum est quod linearum  $PC$  &  $pC$  incrementa vel decrementa semper sint æqualia, ideoque si corporum in locis  $P$  &  $p$  existentium distinguantur motus singuli (per legum corol. 2.) in binos, quorum hi versus centrum, sive secundum lineas  $PC$ ,  $pC$  determinentur, & alteri prioribus transversi sint, & secundum lineas ipsas  $PC$ ,  $pC$  perpendiculares directionem habeant; motus versus centrum erunt æquales, & motus transversus corporis

corporis  $p$  erit ad motum transversum corporis  $P$ , ut motus angularis lineæ  $pC$  ad motum angularem lineæ  $PC$ , id est, ut angulus  $VCP$  ad angulum  $VCP$ . Igitur eodem tempore quo corpus  $P$  motu suo utroque pervenit ad punctum  $K$ , corpus  $p$  æquali in centrum motu æqualiter movebitur a  $p$  versus  $C$ , ideoque completo illo tempore reperietur alicubi in linea  $mkr$ , quæ per punctum  $k$  in lineam  $pC$  perpendicularis est; & motu transverso acquirat distantiam a linea  $pC$ , quæ sit ad distantiam quam corpus alterum  $P$  acquirat a linea  $PC$ , ut est motus transversus corporis  $p$  ad motum transversum corporis alterius  $P$ . Quare cum  $kr$  æqualis sit distantie quam corpus  $P$  acquirat a linea  $PC$ , sitque  $mr$  ad  $kr$  ut angulus  $VCP$  ad angulum



$VCP$ , hoc est, ut motus transversus corporis  $p$  ad motum transversum corporis  $P$ , manifestum est quod corpus  $p$  completo illo tempore reperietur in loco  $m$ . Hæc ita se habebunt ubi corpora  $p$  &  $P$  æqualiter secundum lineas  $pC$  &  $PC$  moventur, ideoque æqualibus viribus secundum lineas illas urgentur. Capiatur autem angulus  $pCn$  ad angulum  $pCk$  ut est angulus  $VCP$  ad angulum  $VCP$ , sitque  $nC$  æqualis  $kC$ , & corpus  $p$  completo illo tempore revera reperietur

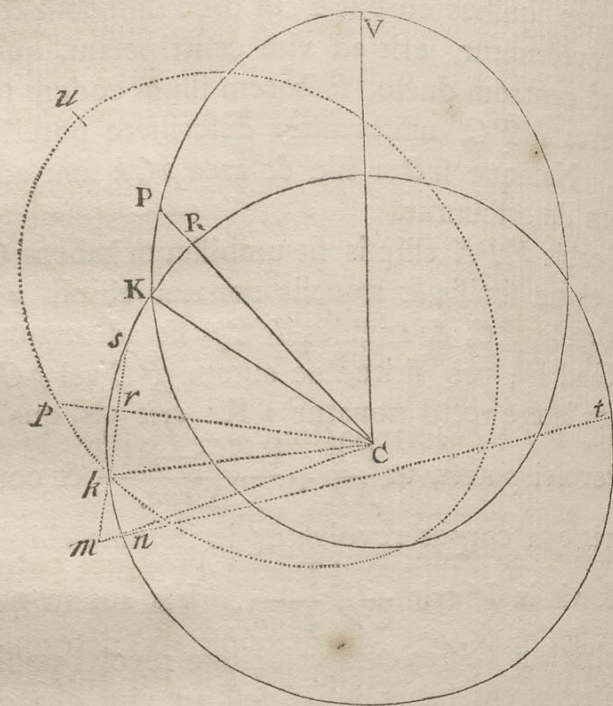






fit ad seipsam in altitudine  $CV$  ut  $\frac{1}{A \text{ cub.}}$  ad  $\frac{1}{CV \text{ cub.}}$  eadem differentia in omni altitudine  $A$  valebit  $\frac{RGG-RFF}{A \text{ cub.}}$ . Igitur ad vim  $\frac{FF}{AA}$ , qua corpus revolvi potest in ellipsi immobili  $VPK$ , addatur excessus  $\frac{RGG-RFF}{A \text{ cub.}}$ ; & componetur vis tota  $\frac{FF}{AA} + \frac{RGG-RFF}{A \text{ cub.}}$  qua corpus in ellipsi mobili  $upk$  iisdem temporibus revolvi possit.

Corol. 3. Ad eundem modum colligetur quod, si orbis immobilis



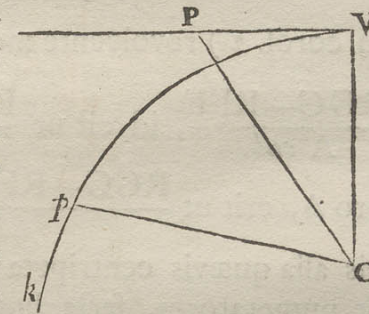
$VPK$  ellipsis fit centrum habens in virium centro  $C$ ; eique similis æqualis & concentrica ponatur ellipsis mobilis  $upk$ ; sitque  $2R$  ellipseos hujus latus rectum principale, &  $2T$  latus transversum sive axis major, atque angulus  $VCP$  semper fit ad angulum  $VCP$  ut  $G$  ad  $F$ ; vires, quibus corpora in ellipsi immobili & mobili temporibus æqualibus revolvi possunt, erunt ut  $\frac{FFA}{T \text{ cub.}}$  &  $\frac{FFA}{T \text{ cub.}}$  +  $\frac{RGG-RFF}{A \text{ cub.}}$  respective.

Corol.

Corol. 4. Et universaliter, si corporis altitudo maxima  $CV$  nominetur  $T$ , & radius curvaturæ quam orbis  $VPK$  habet in  $V$ , id est radius circuli æqualiter curvi, nominetur  $R$ , & vis centripeta, qua corpus in trajectoria quacunque immobili  $VPK$  revolvi potest in loco  $V$ , dicatur  $\frac{VFF}{TT}$ , atque aliis in locis  $P$  indefinite dicatur  $X$ , altitudine  $CP$  nominata  $A$ , & capiatur  $G$  ad  $F$  in data ratione anguli  $VCP$  ad angulum  $VCP$ : erit vis centripeta, qua corpus idem eodem motus in eadem trajectoria  $upk$  circulariter mota temporibus iisdem peragere potest, ut summa virium  $X + \frac{VRGG-VRFF}{A \text{ cub.}}$ .

Corol. 5. Dato igitur motu corporis in orbe quocunque immobili, augeri vel minui potest ejus motus angularis circa centrum virium in ratione data, & inde inveniri novi orbis immobiles in quibus corpora novis viribus centripetis gyrentur.

Corol. 6. Igitur si ad rectam  $CV$  positione datam erigatur perpendicularum  $VP$  longitudinis indeterminatæ, jungaturque  $CP$ , & ipsi æqualis agatur  $Cp$ , constituens angulum  $VCP$ , qui sit ad angulum  $VCP$  in data ratione; vis qua corpus gyri potest in curva illa  $Vpk$  quam punctum  $p$  perpetuo tangit, erit reciproce ut cubus altitudinis  $Cp$ . Nam corpus  $P$  per vim inertiae, nulla alia vi urgente, uniformiter progredi potest in recta  $VP$ . Addatur vis in centrum  $C$ , cubo altitudinis  $CP$  vel  $Cp$  reciproce proportionalis, & (per jam demonstrata) detorquebitur motus ille rectilineus in lineam curvam  $Vpk$ . Est autem hæc curva  $Vpk$  eadem cum curva illa  $VPQ$  in corol. 3. prop. xli. inventa, in qua ibi diximus corpora hujusmodi viribus attracta oblique ascendere.



PROPO.



## PROPOSITIO XLV. PROBLEMA XXXI.

*Orbium qui sunt circulis maxime finitimi requiruntur motus apsidum.*

Problema solvitur arithmetice faciendo ut orbis, quem corpus in ellipsi mobili (ut in propositionis superioris corol. 2. vel 3.) revolvens describit in plano immobili, accedat ad formam orbis cuius apsidem requiruntur, & quærendo apsidem orbis quem corpus illud in plano immobili describit. Orbes autem eandem acquirunt formam, si vires centripetæ quibus describuntur, inter se collatæ, in æqualibus altitudinibus reddantur proportionales. Sit punctum  $V$  apsis summa, & scribantur  $T$  pro altitudine maxima  $CV$ ,  $A$  pro altitudine quavis alia  $CP$  vel  $Cp$ , &  $X$  pro altitudinum differentia  $CV - CP$ ; & vis, qua corpus in ellipsi circa umbilicum suum  $C$  (ut in corol. 2.) revolvente movetur, quæque in corol. 2. erat ut  $\frac{FF}{AA}$ .

$\frac{RGG - RFF}{A \text{ cub.}}$ , id est ut  $\frac{FFA + RGG - RFF}{A \text{ cub.}}$ , substituendo  $T - X$  pro  $A$ , erit ut  $\frac{RGG - RFF + TFF - FFX}{A \text{ cub.}}$ . Reducenda similiter est

vis alia quævis centripeta ad fractionem cujus denominator sit  $A \text{ cub.}$  & numeratores, facta homologorum terminorum collatione, statuendi sunt analogi. Res exemplis patebit.

*Exempl. 1.* Ponamus vim centripetam uniformem esse, ideoque ut  $\frac{A \text{ cub.}}{A \text{ cub.}}$ , sive (scribendo  $T - X$  pro  $A$  in numeratore) ut  $\frac{T \text{ cub.} - 3TTX + 3TXX - X \text{ cub.}}{A \text{ cub.}}$ ; & collatis numeratorum terminis

correspondentibus, nimirum datis cum datis & non datis cum non datis, fiet  $RGG - RFF + TFF$  ad  $T \text{ cub.}$  ut  $-FFX$  ad  $-3TTX + 3TXX - X \text{ cub.}$  sive ut  $-FF$  ad  $-3TT + 3TX - XX$ . Jam cum orbis ponatur circulo quam maxime finitimus, coeat orbis cum circulo, & ob factas  $R$ ,  $T$  æquales, atque  $X$  in infinitum diminutam, rationes ultimæ erunt  $RGG$  ad  $T \text{ cub.}$  ut  $-FF$  ad  $-3TT$ , seu  $GG$  ad  $TT$  ut  $FF$  ad  $3TT$ , & vicissim  $GG$  ad  $FF$  ut  $TT$  ad  $3TT$ , id est, ut

ut  $1$  ad  $3$ ; ideoque  $G$  ad  $F$ , hoc est angulus  $VCP$  ad angulum  $VCP$ , ut  $1$  ad  $\sqrt{3}$ . Ergo cum corpus in ellipsi immobili, ab apside summa ad apsidem imam descendendo conficiat angulum  $VCP$  (ut ita dicam) graduum  $180$ ; corpus aliud in ellipsi mobili, atque ideo in orbe immobili de quo agimus, ab apside summa ad apsidem imam descendendo conficiet angulum  $VCP$  graduum  $\frac{180}{\sqrt{3}}$ : id ideo ob similitudinem orbis hujus, quem corpus agente uniformi vi centripeta describit, & orbis illius quem corpus in ellipsi revolvente gyros peragens describit in plano quiescente. Per superiorem terminorum collationem similes redduntur hi orbes, non universaliter sed tunc cum ad formam circularem quam maxime appropinquant. Corpus igitur uniformi cum vi centripeta in orbe propemodum circulari revolvens, inter apsidem summam & apsidem imam conficiet semper angulum  $\frac{180}{\sqrt{3}}$  graduum, seu  $103 \text{ gr. } 55 \text{ m. } 23 \text{ sec.}$  ad

centrum; perveniens ab apside summa ad apsidem imam ubi semel confecit hunc angulum, & inde ad apsidem summam rediens ubi iterum confecit eundem angulum; & sic deinceps in infinitum.

*Exempl. 2.* Ponamus vim centripetam esse ut altitudinis  $A$  dignitas quælibet  $A^n$  seu  $\frac{A^n}{A}$ ; ubi  $n-3$  &  $n$  significant dignitatum indices quoscunque integros vel fractos, rationales vel irracionales, affirmativos vel negativos. Numerator ille  $A^n$  seu  $T - X$  in seriem indeterminatam per methodum nostram serierum convergentium

reducta, evadit  $T^n - nXT^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2}XXT^{n-2}$  &c. Et collatis hujus terminis cum terminis numeratoris alterius  $RGG - RFF + TFF$

$-FFX$ , fit  $RGG - RFF + TFF$  ad  $T^n$  ut  $-FF$  ad  $-nT^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2}$

$XT^{n-2}$  &c. Et sumendo rationes ultimas ubi orbes ad formam circularem accedunt, fit  $RGG$  ad  $T^n$  ut  $-FF$  ad  $-nT^{n-1}$ , seu  $GG$  ad  $T^{n-1}$  ut  $FF$  ad  $nT^{n-1}$ , & vicissim  $GG$  ad  $FF$  ut  $T^{n-1}$  ad  $nT^{n-1}$  id est ut  $1$  ad  $n$ ; ideoque  $G$  ad  $F$ , id est angulus  $VCP$  ad angulum  $VCP$ , ut  $1$  ad  $\sqrt{n}$ . Quare cum angulus  $VCP$ , in descensu corporis ab apside summa ad apsidem imam in ellipsi confectus, sit graduum  $180$ ; conficietur angulus  $VCP$ , in descensu corporis ab apside



apside summa ad apsidem imam, in orbe propemodum circulari quem corpus quodvis vi centripeta dignitati  $A^{n-1}$  proportionali describit, æqualis angulo graduum  $\frac{180}{\sqrt{n}}$ ; & hoc angulo repetito corpus redibit ab apside ima ad apsidem summam, & sic deinceps in infinitum. Ut si vis centripeta sit ut distantia corporis a centro, id est, ut  $A$  seu  $\frac{A^4}{A^3}$ , erit  $n$  æqualis 4 &  $\sqrt{n}$  æqualis 2; ideoque angulus inter apsidem summam & apsidem imam æqualis  $\frac{180}{2}$  gr. seu 90 gr. Completa igitur quarta parte revolutionis unius corpus perveniet ad apsidem imam, & completa alia quarta parte ad apsidem summam, & sic deinceps per vices in infinitum. Id quod etiam ex propositione x. manifestum est. Nam corpus urgente hac vi centripeta revolvitur in ellipsi immobili, cujus centrum est in centro virium. Quod si vis centripeta sit reciproce ut distantia, id est directe ut  $\frac{1}{A}$  seu  $\frac{A^2}{A^3}$ , erit  $n$  æqualis 2, ideoque inter apsidem summam & imam angulus erit graduum  $\frac{180}{\sqrt{2}}$  seu 127 gr. 16 m. 45 sec. & propterea corpus tali vi revolvens, perpetua anguli hujus repetitione, vicibus alternis ab apside summa ad imam & ab ima ad summam perveniet in æternum. Porro si vis centripeta sit reciproce ut latus quadrato-quadratum undecimæ dignitatis altitudinis, id est reciproce ut  $A^{\frac{11}{4}}$ , ideoque directe ut  $\frac{1}{A^{\frac{11}{4}}}$  seu ut  $\frac{A^{\frac{1}{4}}}{A^3}$  erit  $n$  æqualis  $\frac{1}{4}$ , &  $\frac{180}{\sqrt{n}}$  gr. æqualis 360 gr. & propterea corpus de apside summa discedens & subinde perpetuo descendens, perveniet ad apsidem imam ubi complevit revolutionem integram, dein perpetuo ascensu complendo aliam revolutionem integram, redibit ad apsidem summam: & sic per vices in æternum.

*Exempl. 3.* Assumentes  $m$  &  $n$  pro quibusvis indicibus dignitatum altitudinis, &  $b, c$  pro numeris quibusvis datis, ponamus vim centripetam esse ut  $\frac{bA^m + cA^n}{A^{cub.}}$ , id est, ut  $\frac{b \text{ in } T - X + c \text{ in } T - \Delta^2}{A^{cub.}}$  sue

seu (per eandem methodum nostram serierum convergentium) ut  

$$\frac{bT^m + cT^n - mbXT^{m-1} - ncXT^{n-1} + \frac{mm-m}{2}bXXT^{m-2} + \frac{nn-n}{2}cXXT^{n-2} \&c.}{A^{cub.}}$$

& collatis numeratorum terminis, fiet  $RGG - RFF + TFF$  ad  $bT^m + cT^n$ , ut  $-FF$  ad  $-mbT^{m-1} - ncT^{n-1} + \frac{mm-m}{2}bXT^{m-2} + \frac{nn-n}{2}cXT^{n-2} \&c.$  Et sumendo rationes ultimas quæ prodeunt ubi orbes ad formam circulem accedunt, fit  $GG$  ad  $bT^{m-1} + cT^{n-1}$ , ut  $FF$  ad  $mbT^{m-1} + ncT^{n-1}$ , & vicissim  $GG$  ad  $FF$  ut  $bT^{m-1} + cT^{n-1}$  ad  $mbT^{m-1} + ncT^{n-1}$ . Quæ proportio, exponendo altitudinem maximam  $CV$  seu  $T$  arithmetice per unitatem, fit  $GG$  ad  $FF$  ut  $b+c$  ad  $mb+nc$ , ideoque ut 1 ad  $\frac{mb+nc}{b+c}$ . Unde est  $G$  ad  $F$ , id est

angulus  $VCP$  ad angulum  $VCP$ , ut 1 ad  $\sqrt{\frac{mb+nc}{b+c}}$ . Et propterea cum angulus  $VCP$  inter apsidem summam & apsidem imam in ellipsi immobili sit 180 gr. erit angulus  $VCP$  inter easdem apsidem, in orbe quem corpus vi centripeta quantitati  $\frac{bA^m + cA^n}{A^{cub.}}$  proportionali

describit, æqualis angulo graduum  $180 \sqrt{\frac{b+c}{mb+nc}}$ . Et eodem argumento si vis centripeta sit ut  $\frac{bA^m - cA^n}{A^{cub.}}$ , angulus inter apsidem invenietur

graduum  $180 \sqrt{\frac{b-c}{mb-nc}}$ . Nec secus resolvitur problema in casibus difficilius. Quantitas, cui vis centripeta proportionalis est, resolvi semper debet in series convergentes denominatorem habentes  $A^{cub.}$  Dein pars data numeratoris qui ex illa operatione provenit ad ipsius partem alteram non datam, & pars data numeratoris hujus  $RGG - RFF + TFF - FFX$  ad ipsius partem alteram non datam in eadem ratione ponendæ sunt: Et quantitates superfluas delendo, scribendoque unitatem pro  $T$ , obtinebitur proportio  $G$  ad  $F$ .

*Corol. 1.* Hinc si vis centripeta sit ut aliqua altitudinis dignitas, inveniri potest dignitas illa ex motu apsidum; & contra. Nimirum si motus totus angularis, quo corpus redit ad apsidem eandem, sit

$T^2$

ad



DE MOTU  
CORPORUM

ad motum angularem revolutionis unius, seu graduum 360, ut numerus aliquis  $m$  ad numerum alium  $n$ , & altitudo nominetur  $A$ ;

erit vis ut altitudinis dignitas illa  $A^{\frac{n}{m}-3}$ , cujus index est  $\frac{n}{m}-3$ .

Id quod per exempla secunda manifestum est. Unde liquet vim illam in majore quam triplicata altitudinis ratione, in recessu a centro, decrescere non posse: Corpus tali vi revolvens deque apside discedens, si coeperit descendere nunquam perveniet ad apsidem imam seu altitudinem minimam, sed descendet usque ad centrum, describens curvam illam lineam de qua egimus in corol. 3. prop. xli. Sin coeperit illud, de apside discedens, vel minimum ascendere, ascendet in infinitum, neque unquam perveniet ad apsidem summam. Describet enim curvam illam lineam de qua actum est in eodem corol. & in corol. vi. prop. xlii. Sic & ubi vis, in recessu a centro, decrescit in majore quam triplicata ratione altitudinis, corpus de apside discedens, perinde ut coeperit descendere vel ascendere, vel descendet ad centrum usque vel ascendet in infinitum. At si vis, in recessu a centro, vel decrescat in minore quam triplicata ratione altitudinis, vel crescat in altitudinis ratione quacunque, corpus nunquam descendet ad centrum usque, sed ad apsidem imam aliquando perveniet: & contra, si corpus de apside ad apsidem alternis vicibus descendens & ascendens nunquam appellat ad centrum; vis in recessu a centro aut augebitur, aut in minore quam triplicata altitudinis ratione decrescet: & quo citius corpus de apside ad apsidem redierit, eo longius ratio virium recedet a ratione illa triplicata. Ut si corpus revolutionibus 8 vel 4 vel 2 vel  $1\frac{1}{2}$  de apside summa ad apsidem summam alterno descensu & ascensu redierit; hoc est, si fuerit  $m$  ad  $n$  ut 8 vel 4 vel 2 vel  $1\frac{1}{2}$  ad 1, ideoque  $\frac{n}{m}-3$  valeat  $\frac{1}{8}-3$  vel  $\frac{1}{4}-3$  vel  $\frac{1}{2}-3$  vel  $\frac{5}{4}-3$ : erit vis ut

$A^{\frac{1}{8}-3}$  vel  $A^{\frac{1}{4}-3}$  vel  $A^{\frac{1}{2}-3}$  vel  $A^{\frac{5}{4}-3}$ , id est, reciproce ut  $A^3-\frac{1}{8}$  vel  $A^3-\frac{1}{4}$  vel  $A^3-\frac{1}{2}$  vel  $A^3-\frac{5}{4}$ . Si corpus singulis revolutionibus redierit ad apsidem eandem immotam; erit  $m$  ad  $n$

ut 1 ad 1, ideoque  $A^{\frac{n}{m}-3}$  æqualis  $A^{-2}$  seu  $\frac{1}{AA}$ ; & propterea decrementum virium in ratione duplicata altitudinis, ut in præcedentibus demonstratum est. Si corpus partibus revolutionis unius

vel

LIBER  
PRIMUS.

vel tribus quartis, vel duabus tertiis, vel una tertia, vel una quarta, ad apsidem eandem redierit; erit  $m$  ad  $n$  ut  $\frac{1}{4}$  vel  $\frac{2}{3}$  vel  $\frac{1}{2}$  vel  $\frac{1}{4}$  ad 1, ideoque  $A^{\frac{n}{m}-3}$  æqualis  $A^{\frac{1}{2}-3}$  vel  $A^{\frac{2}{3}-3}$  vel  $A^{\frac{1}{2}-3}$  vel  $A^{\frac{1}{4}-3}$ ;

& propterea vis aut reciproce ut  $A^{\frac{1}{2}}$  vel  $A^{\frac{2}{3}}$ , aut directe ut  $A^6$  vel  $A^9$ . Denique si corpus pergendo ab apside summa ad apsidem summam confecerit revolutionem integram, & præterea gradus tres, ideoque apsis illa singulis corporis revolutionibus confecerit in consequentia gradus tres; erit  $m$  ad  $n$  ut 363 gr. ad 360 gr. sive ut 121 ad 120,

ideoque  $A^{\frac{n}{m}-3}$  erit æquale  $A^{-\frac{1}{120}}$ ; & propterea vis centripeta reciproce ut  $A^{\frac{1}{120}}$  seu reciproce ut  $A^{\frac{2}{120}}$  proxime. Decrescit igitur vis centripeta in ratione paulo majore quam duplicata, sed quæ vicibus 59½ propius ad duplicatam quam ad triplicatam accedit.

Corol. 2. Hinc etiam si corpus, vi centripeta quæ sit reciproce ut quadratum altitudinis, revolvatur in ellipsi umbilicum habente in centro virium, & huic vi centripetæ addatur vel auferatur vis aliqua vis extranea; cognosci potest (per exempla tertia) motus apsidum qui ex vi illa extranea orietur: & contra. Ut si vis qua corpus revolvitur in ellipsi sit ut  $\frac{1}{AA}$ , & vis extranea ablata ut  $cA$ ,

ideoque vis reliqua ut  $\frac{A-cA^4}{A^4}$ ; erit (in exemplis tertiis)  $b$  æqualis

1,  $m$  æqualis 1, &  $n$  æqualis 4, ideoque angulus revolutionis inter apsidem æqualis angulo graduum  $180 \sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$ . Ponamus vim

illam extraneam esse 357.45 partibus minorem quam vis altera qua corpus revolvitur in ellipsi, id est  $c$  esse  $\frac{1}{357.45}$ , existente  $A$  vel  $T$

æquali 1, &  $180 \sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$  evadet  $180 \sqrt{\frac{357.45}{357.45-4}}$ , seu 180.7623, id est,

180 gr. 45 m. 44 s. Igitur corpus de apside summa discedens, motu angulari 180 gr. 45 m. 44 s. perveniet ad apsidem imam, & hoc motu duplicato ad apsidem summam redibit: ideoque apsis summa singulis revolutionibus progrediendo conficiet 1 gr. 31 m. 28 sec. Apsis lunæ est duplo velocior circiter.

Hactenus de motu corporum in orbibus quorum plana per centrum virium transeunt. Superest ut motus etiam determinemus in planis



planis excentricis. Nam scriptores qui motum gravium tractant, considerare solent ascensus & descensus ponderum, tam obliquos in planis quibuscunque datis, quam perpendiculares: & pari jure motus corporum viribus quibuscunque centra petentium, & planis excentricis innitentium hic considerandus venit. Plana autem supponimus esse politissima & absolute lubrica ne corpora retardent. Quinimo, in his demonstrationibus, vice planorum quibus corpora incumbunt quæque tangunt incumbendo, usurpamus plana his parallela, in quibus centra corporum moventur & orbitas movendo peractos subinde determinamus.

SECTIO X.

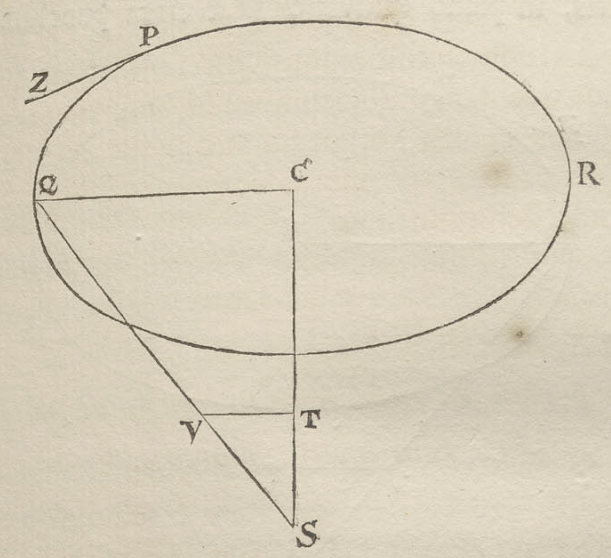
*De motu corporum in superficiebus datis, deque funipendulorum motu reciproco.*

PROPOSITIO XLVI. PROBLEMA XXXII.

*Posita cujuscunque generis vi centripeta, datoque tum virium centro tum plano quocunque in quo corpus revoluitur, & concessis figurarum curvilinearum quadraturis: requiritur motus corporis de loco dato, data cum velocitate, secundum rectam in plano illo datam egressi.*

Sit  $S$  centrum virium,  $SC$  distantia minima centri hujus a plano dato,  $P$  corpus de loco  $P$  secundum rectam  $PZ$  egrediens,  $Q$  corpus idem in trajectoria sua revolvens, &  $PQR$  trajectoria illa, in plano dato descripta, quam invenire oportet. Jungantur  $CQ$ ,  $QS$ , & si in  $QS$  capiatur  $SV$  proportionalis vi centripetæ qua corpus trahitur versus centrum  $S$ , & agatur  $VT$  quæ sit parallela  $CQ$  & occurrat  $SC$  in  $T$ : Vis  $SV$  resolvetur (per legem corol 2.) in vires  $ST$ ,  $TV$ ; quarum  $ST$  trahendo corpus secundum lineam plano perpendicularem, nil mutat motum ejus in hoc plano. Vis autem altera  $TV$ , agendo secundum positionem plani, trahit corpus directe versus punctum

punctum  $C$  in plano datum, ideoque efficit, ut corpus illud in hoc plano perinde moveatur, ac si vis  $ST$  tolleretur, & corpus vi sola  $TV$  revolveretur circa centrum  $C$  in spatio libero. Data autem vi centripeta  $TV$  qua corpus  $Q$  in spatio libero circa centrum datum



$C$  revolvitur, datur (per prop. xlii.) tum trajectoria  $PQR$ , quam corpus describit, tum locus  $Q$ , in quo corpus ad datum quodvis tempus versabitur, tum denique velocitas corporis in loco illo  $Q$ ; & contra.  $Q. E. I.$

PROPOSITIO XLVII. THEOREMA. XV.

*Posito quod vis centripeta proportionalis sit distantie corporis a centro; corpora omnia in planis quibuscunque revolventia describent ellipses, & revolutiones temporibus æqualibus peragent; quæque moventur in lineis rectis, ultro citroque discurrendo, singulas eundi & redeundi periodos iisdem temporibus absolvent.*

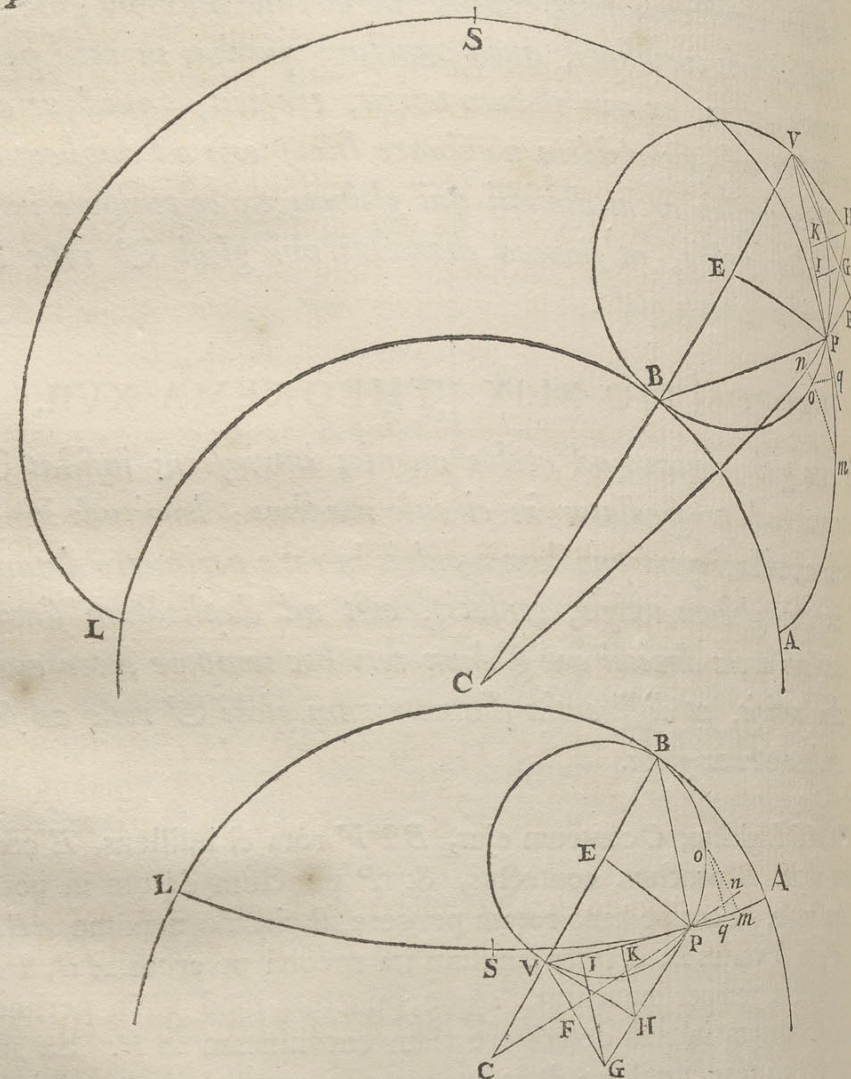
Nam, stantibus quæ in superiore propositione, vis  $SV$ , qua corpus  $Q$  in plano quovis  $PQR$  revolvens trahitur versus centrum  $S$ , est ut distantia  $SQ$ ; atque ideo ob proportionales  $SV$  &  $SQ$ ,  $TV$  &  $CQ$ , vis  $TV$ , qua corpus trahitur versus punctum  $C$  in orbis plano datum,







ad  $VP$  demittantur normales  $GI$ ,  $HK$ . Centro item  $C$  & intervallo quovis describatur circulus  $nom$  secans rectam  $CP$  in  $n$ , rotæ perimetrum  $BP$  in  $o$ , & viam curvilineam  $AP$  in  $m$ ; centroque  $V$  & intervallo  $Vo$  describatur circulus secans  $VP$  productam in  $q$ .



Quoniam rota eundo semper revolvitur circa punctum contactus  $B$ , manifestum est quod recta  $BP$  perpendicularis est ad lineam illam curvam  $AP$  quam rotæ punctum  $P$  describit, atque ideo quod recta  $VP$  tanget hanc curvam in puncto  $P$ . Circuli  $nom$  radius sensim auctus vel diminutus æquetur tandem distantia  $CP$ ; &

ob

ob similitudinem figuræ evanescentis  $Pnomq$  & figuræ  $PFGVI$ , ratio ultima lineolarum evanescentium  $Pm$ ,  $Pn$ ,  $Po$ ,  $Pq$ , id est, ratio mutationum momentanearum curvæ  $AP$ , rectæ  $CP$ , arcus circularis  $BP$ , ac rectæ  $VP$ , eadem erit quæ linearum  $PV$ ,  $PF$ ,  $PG$ ,  $PI$  respective. Cum autem  $VF$  ad  $CF$  &  $VH$  ad  $CV$  perpendiculares sint, angulique  $HVG$ ,  $VCF$  propterea æquales; & angulus  $VHG$  (ob angulos quadrilateri  $HVEP$  ad  $V$  &  $P$  rectos) angulo  $CEP$  æqualis est, similia erunt triangula  $VHG$ ,  $CEP$ ; & inde fiet ut  $EP$  ad  $CE$  ita  $HG$  ad  $HV$  seu  $HP$  & ita  $KI$  ad  $KP$ , & compositæ vel divisim ut  $CB$  ad  $CE$  ita  $PI$  ad  $PK$ , & duplicatis consequentibus ut  $CB$  ad  $2CE$  ita  $PI$  ad  $PV$ , atque ita  $Pq$  ad  $Pm$ . Est igitur decrementum lineæ  $VP$ , id est, incrementum lineæ  $BV-VP$  ad incrementum lineæ curvæ  $AP$  in data ratione  $CB$  ad  $2CE$ , & propterea (per corol. lem. iv.) longitudines  $BV-VP$  &  $AP$ , incrementis illis genitæ, sunt in eadem ratione. Sed, existente  $BV$  radio, est  $VP$  co-sinus anguli  $BVP$  seu  $\frac{1}{2}BEP$ , ideoque  $BV-VP$  sinus versus est ejusdem anguli; & propterea in hac rota, cujus radius est  $\frac{1}{2}BV$ , erit  $BV-VP$  duplus sinus versus arcus  $\frac{1}{2}BP$ . Ergo  $AP$  est ad duplum sinum versus arcus  $\frac{1}{2}BP$  ut  $2CE$  ad  $CB$ . Q. E. D.

Lineam autem  $AP$  in propositione priore cycloidem extra globum, alteram in posteriore cycloidem intra globum distinctionis gratia nominabimus.

Corol. 1. Hinc si describatur cyclois integra  $ASL$  & bifecetur ea in  $S$ , erit longitudo partis  $PS$  ad longitudinem  $VP$  (quæ duplus est sinus anguli  $VBP$ , existente  $EB$  radio) ut  $2CE$  ad  $CB$ , atque ideo in ratione data.

Corol. 2. Et longitudo semiperimetri cycloidis  $AS$  æquabitur lineæ rectæ, quæ est ad rotæ diametrum  $BV$  ut  $2CE$  ad  $CB$ .

## PROPOSITIO L. PROBLEMA XXXIII.

Facere ut corpus pendulum oscilletur in cycloide data.

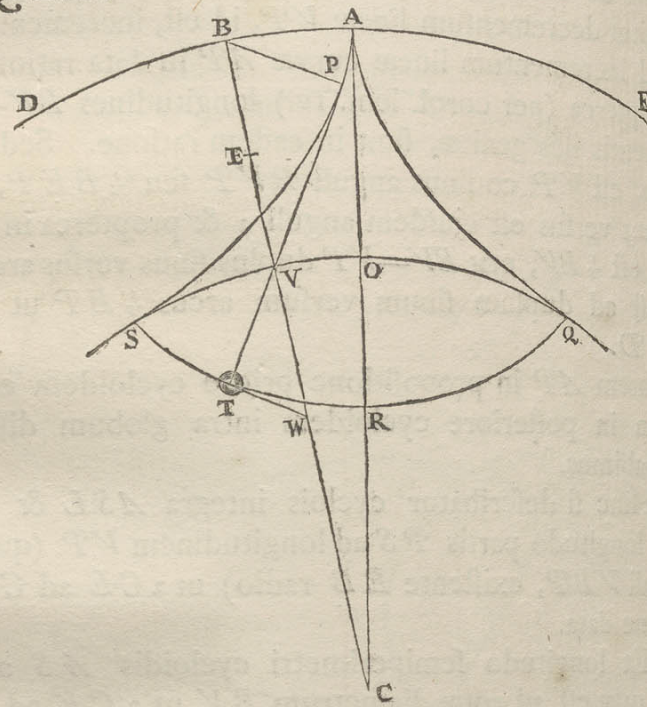
Intra globum  $QVS$ , centro  $C$  descriptum, detur cyclois  $QRS$  bifecta in  $R$  & punctis suis extrêmis  $Q$  &  $S$  superficiæ globi hinc inde occurrens. Agatur  $CR$  bifecans arcum  $QS$  in  $O$ , & producat eam ad  $A$ , ut sit  $CA$  ad  $CO$  ut  $CO$  ad  $CR$ . Centro  $C$  inter-

U 2

vallo



vallo  $CA$  describatur globus exterior  $DAF$ , & intra hunc globum a rota, cujus diameter sit  $AO$ , describantur duæ semicycloides  $AQ$ ,  $AS$ , quæ globum interiorem tangent in  $Q$  &  $S$  & globo exteriori occurrant in  $A$ . A puncto illo  $A$ , filo  $APT$  longitudinem  $AR$  æquante, pendeat corpus  $T$ , & ita intra semicycloides  $AQ$ ,  $AS$  oscilletur, ut quoties pendulum digreditur a perpendiculari  $AR$ , filum parte sui superiore  $AP$  applicetur ad semicycloidem illam  $APS$  versus quam peragitur motus, & circum eam ceu obstaculum flectatur, parteque reliqua  $PT$  cui semicyclois nondum obicitur, protendatur in lineam rectam; & pondus  $T$  oscillabitur in cycloide data  $QRS$ . *Q. E. F.*

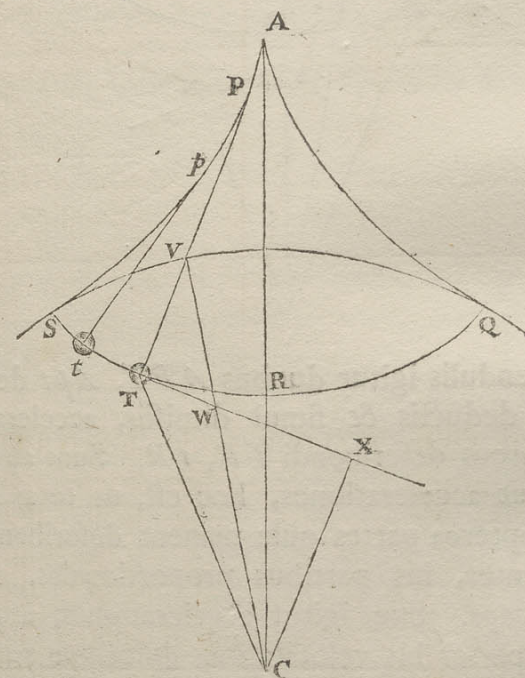


Occurrat enim filum  $PT$  tum cycloidi  $QRS$  in  $T$ , tum circulo  $QOS$  in  $V$ , agaturque  $CV$ ; & ad fili partem rectam  $PT$ , e punctis extremis  $P$  ac  $T$ , erigantur perpendiculara  $BP$ ,  $TW$ , occurrentia rectæ  $CV$  in  $B$  &  $W$ . Patet, ex constructione & generi similium figurarum  $AS$ ,  $SR$ , perpendiculara illa  $PB$ ,  $TW$  abscindere de  $CV$  longitudines  $VB$ ,  $VW$  rotarum diametris  $OA$ ,  $OR$  æquales. Est igitur  $TP$  ad  $VP$  (duplum sinum anguli  $VBP$  existente  $\frac{1}{2}BV$  radio) ut  $BW$  ad  $BV$ , seu  $AO + OR$  ad  $AO$ , id est (cum sint  $CA$  ad

ad  $CO$ ,  $CO$  ad  $CR$  & divisim  $AO$  ad  $OR$  proportionales) ut  $CA + CO$  ad  $CA$ , vel, si bifecetur  $BV$  in  $E$ , ut  $2CE$  ad  $CB$ . Proinde (per corol. 1. prop. XLIX.) longitudo partis rectæ fili  $PT$  æquatur semper cycloidis arcui  $PS$ , & filum totum  $APT$  æquatur semper cycloidis arcui dimidio  $APS$ , hoc est (per corol. 2. prop. XLIX.) longitudini  $AR$ . Et propterea vicissim si filum manet semper æquale longitudini  $AR$  movebitur punctum  $T$  in cycloide data  $QRS$ . *Q. E. D.*  
*Corol.* Filum  $AR$  æquatur semicycloidi  $AS$ , ideoque ad globi exterioris semidiametrum  $AC$  eandem habet rationem quam similis illi semicyclois  $SR$  habet ad globi interioris semidiametrum  $CO$ .

## PROPOSITIO LI. THEOREMA XVIII.

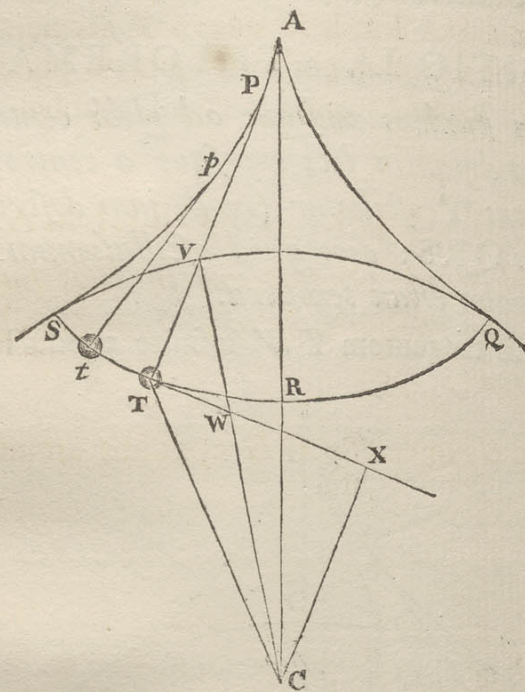
Si vis centripeta tendens undique ad globi centrum  $C$  sit in locis singulis ut distantia loci cujusque a centro, & hac sola vi agente corpus  $T$  oscilletur (modo jam descripto) in perimetro cycloidis  $QRS$ : dico quod oscillationum utcumque inæqualium æqualia erunt tempora.  
Nam in cycloidis tangentem  $TW$  infinite productam cadat per-



pendiculum  $CX$  & jungatur  $CT$ . Quoniam vis centripeta qua corpus



pus  $T$  impellitur versus  $C$  est ut distantia  $CT$ , atque hæc (per legem corol. 2.) resolvitur in partes  $CX$ ,  $TX$ , quarum  $CX$  impellendo corpus directe a  $P$  distendit filum  $PT$  & per ejus resistentiam tota cessat, nullum alium edens effectum; pars autem altera  $TX$ , urgendo corpus transversum seu versus  $X$ , directe accelerat motum ejus in cycloide; manifestum est quod corporis acceleratio, huic vi acceleratrici proportionalis, sit singulis momentis ut longitudo  $TX$ , id est, ob datas  $CV$ ,  $WV$  iisque proportionales  $TX$ ,  $TW$ , ut longitudo  $TW$ , hoc est (per corol. 1. prop. XLIX.) ut longitudo arcus



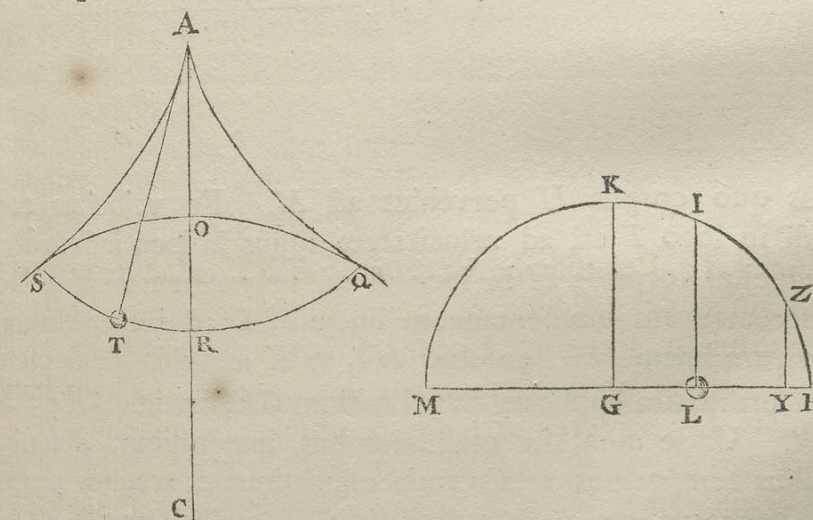
cycloidis  $TR$ . Pendulis igitur duobus  $APT$ ,  $Apt$  de perpendiculari  $AR$  inæqualiter deductis & simul dimissis, accelerationes eorum semper erunt ut arcus describendi  $TR$ , &  $R$ . Sunt autem partes sub initio descriptæ ut accelerationes, hoc est, ut totæ sub initio describendæ, & propterea partes quæ manent describendæ & accelerationes subsequentes, his partibus proportionales, sunt etiam ut totæ; & sic deinceps. Sunt igitur accelerationes, atque ideo velocitates genitæ & partes his velocitatibus descriptæ partesque describendæ, semper ut totæ; & propterea partes describendæ datam servant

servantes rationem ad invicem simul evanescent, id est, corpora duo oscillantia simul pervenient ad perpendicularum  $AR$ . Cumque vicissim ascensus perpendicularorum de loco infimo  $R$ , per eosdem arcus cycloidales motu retrogrado facti, retardentur in locis singulis a viribus iisdem & quibus descensus accelerabantur, patet velocitates ascensuum ac descensuum per eosdem arcus factorum æquales esse, atque ideo temporibus æqualibus fieri; & propterea, cum cycloidis partes duæ  $RS$  &  $RQ$  ad utrumque perpendiculari latus jacentes sint similes & æquales, pendula duo oscillationes suas tam totas quam dimidias iisdem temporibus semper peragent. *Q. E. D.*  
*Corol.* Vis qua corpus  $T$  in loco quovis  $T$  acceleratur vel retardatur in cycloide, est ad totum corporis ejusdem pondus in loco altissimo  $S$  vel  $Q$ , ut cycloidis arcus  $TR$  ad ejusdem arcum  $SR$  vel  $QR$ .

## PROPOSITIO LII. PROBLEMA XXXIV.

Definire & velocitates pendulorum in locis singulis, & tempora quibus tum oscillationes totæ, tum singulæ oscillationum partes peraguntur.

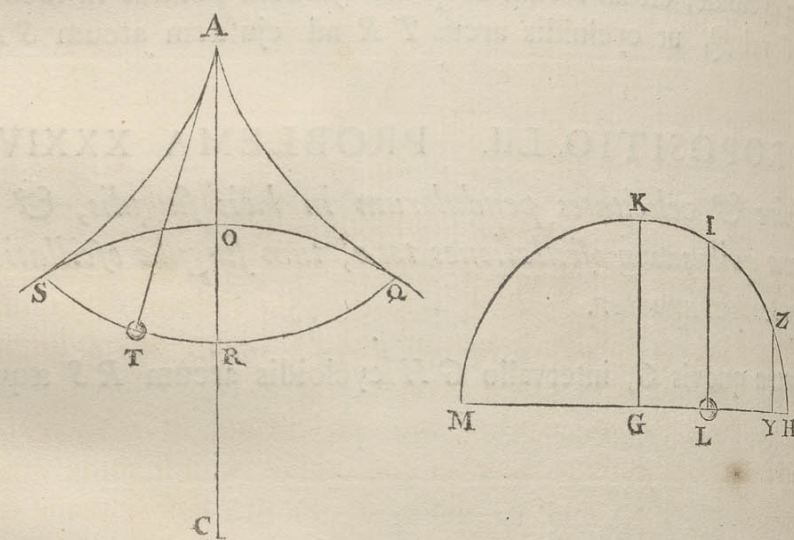
Centro quovis  $G$ , intervallo  $GH$  cycloidis arcum  $RS$  æquante,



describere semicirculum  $HKM$  femidiametro  $GK$  bisectum. Et si vis centripeta, distantis locorum a centro proportionalis, tendat ad centrum



centrum  $G$ , sitque ea in perimetro  $HIK$  æqualis vi centripetæ in perimetro globi  $QOS$  ad ipsius centrum tendenti; & eodem tempore quo pendulum  $T$  dimittitur e loco supremo  $S$ , cadat corpus aliquod  $L$  ab  $H$  ad  $G$ : quoniam vires quibus corpora urgentur sunt æquales sub initio & spatiis describendis  $TR$ ,  $LG$  semper proportionales, atque ideo, si æquantur  $TR$  &  $LG$ , æquales in locis  $T$  &  $L$ ; patet corpora illa describere spatia  $ST$ ,  $HL$  æqualia sub initio, ideoque subinde pergere æqualiter urgeri, & æqualia spatia describere. Quare (per prop. xxxviii.) tempus quo corpus describit arcum  $ST$  est ad tempus oscillationis unius, ut arcus  $HI$ , tempus quo corpus  $H$  perveniet ad  $L$ , ad semiperipheriam  $HKM$ ,



tempus quo corpus  $H$  perveniet ad  $M$ . Et velocitas corporis penduli in loco  $T$  est ad velocitatem ipsius in loco infimo  $R$ , (hoc est, velocitas corporis  $H$  in loco  $L$  ad velocitatem ejus in loco  $G$ , seu incrementum momentaneum lineæ  $HL$  ad incrementum momentaneum lineæ  $HG$ , arcibus  $HI$ ,  $HK$  æquabili fluxu crescentibus) ut ordinatim applicata  $LI$  ad radium  $GK$ , five ut  $\sqrt{SRg} - TRg$  ad  $SR$ . Unde cum, in oscillationibus inæqualibus, describantur æqualibus temporibus arcus totis oscillationum arcibus proportionales; habentur, ex datis temporibus, & velocitates & arcus descripti in oscillationibus universis. Quæ erant primo inveniendæ.

Oscil.

LIBER  
PRIMUS.

Oscillantur jam funipendula corpora in cycloidibus diversis intra globos diversos, quorum diversæ sunt etiam vires absolutæ, descriptis: & si vis absoluta globi cujuscvis  $QOS$  dicatur  $V$ , vis acceleratrix qua pendulum urgetur in circumferentia hujus globi, ubi incipit directe versus centrum ejus moveri, erit ut distantia corporis penduli a centro illo & vis absoluta globi conjunctim, hoc est, ut  $CO \times V$ . Itaque lineola  $HT$ , quæ sit ut hæc vis acceleratrix  $CO \times V$ , describetur dato tempore; & si erigatur normalis  $TZ$  circumferentiæ occurrens in  $Z$ , arcus nascens  $HZ$  denotabit datum illud tempus. Est autem arcus hic nascens  $HZ$  in subduplicata ratione illud tempus. Est itaque ut  $\sqrt{GH \times CO \times V}$ . Unde tempore oscillationis integræ in cycloide  $QRS$  (cum sit ut semiperipheria  $HKM$ , quæ oscillationem illam integram denotat, directe; utque arcus  $HZ$ , qui datum tempus similiter denotat, inverse) fiet ut  $GH$  directe &  $\sqrt{GH \times CO \times V}$  inverse, hoc est, ob æquales  $GH$  &  $SR$ , ut  $\sqrt{\frac{SR}{CO \times V}}$ , five (per corol. prop. I.) ut  $\sqrt{\frac{AR}{AC \times V}}$ . Itaque oscil-

lationes in globis & cycloidibus omnibus, quibuscunque cum viribus absolutis factæ, sunt in ratione quæ componitur ex subduplicata ratione longitudinis fili directe, & subduplicata ratione distantie inter punctum suspensionis & centrum globi inverse, & subduplicata ratione vis absolutæ globi etiam inverse. Q. E. I.

Corol. 1. Hinc etiam oscillantium, cadentium & revolvantium corporum tempora possunt inter se conferri. Nam si rotæ, qua cyclois intra globum describitur, diameter constituatur æqualis semidiametro globi cyclois evadet linea recta per centrum globi transiens, & oscillatio jam erit descensus & subsequens ascensus in hac recta. Unde datur tum tempus descensus de loco quovis ad centrum, tum tempus huic æquale quo corpus uniformiter circa centrum globi ad distantiam quamvis revolvendo arcum quadrantalem describit. Est enim hoc tempus (per casum secundum) ad tempus semioscillationis in cycloide quavis  $QRS$  ut 1 ad  $\sqrt{\frac{AR}{AC}}$ .

Corol. 2. Hinc etiam consecretantur quæ Wrennus & Hugenius de cycloide vulgari adinvenierunt. Nam si globi diameter augeatur in infinitum: mutabitur ejus superficies spherica in planum, visque centripeta aget uniformiter secundum lineas huic plano perpendiculares,

X



culares, & cyclois nostra abibit in cycloidem vulgi. Isto autem in casu longitudo arcus cycloidis, inter planum illud & punctum describens, æqualis evadet quadruplicato finui verso dimidii arcus rotæ inter idem planum & punctum describens; ut invenit *Wrennius*. Et pendulum inter duas ejusmodi cycloides in simili & æquali cycloide temporibus æqualibus oscillabitur, ut demonstravit *Hugenius*. Sed & descensus gravium, tempore oscillationis unius, is erit quem *Hugenius* indicavit.

Aptantur autem propositiones a nobis demonstratæ ad veram constitutionem terræ, quatenus rotæ eundo in ejus circulis maximis describunt motu clavorum, perimetris suis infixorum, cycloides extra globum; & pendula inferius in fodinis & cavernis terræ suspensa, in cycloidibus intra globos oscillari debent, ut oscillationes omnes evadant isochronæ. Nam gravitas (ut in libro tertio docetur) decrescit in progressu a superficie terræ, sursum quidem in duplicata ratione distantiarum a centro ejus, deorsum vero in ratione simplici.

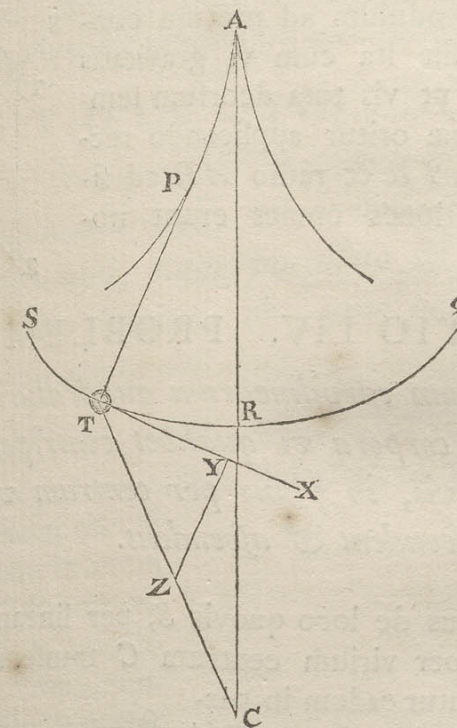
PROPOSITIO LIII. PROBLEMA XXXV.

*Concessis figurarum curvilinearum quadraturis, invenire vires quibus corpora in datis curvis lineis oscillationes semper isochronas peragent.*

Oscilletur corpus *T* in curva quavis linea *STRQ*, cujus axis sit *AR* transiens per virium centrum *C*. Agatur *TX* quæ curvam illam in corporis loco quovis *T* contingat, inque hac tangente *TX* capiatur *TT* æqualis arcui *TR*. Nam longitudo arcus illius ex figurarum quadraturis, per methodos vulgares, innotescit. De puncto *T* educatur recta *TZ* tangenti perpendicularis. Agatur *CT* perpendiculari illi occurrens in *Z*, & erit vis centripeta proportionalis rectæ *TZ*. *Q. E. I.*

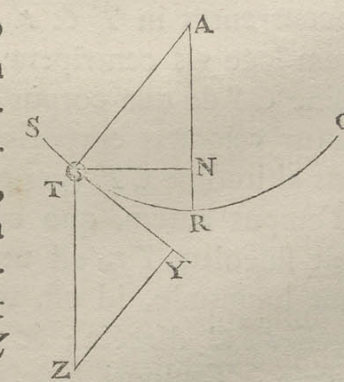
Nam si vis, qua corpus trahitur de *T* versus *C*, exponatur per rectam *TZ* captam ipsi proportionalem, resolvetur hæc in vires *TT*, *TZ*; quarum *TZ* trahendo corpus secundum longitudinem filii *PT*, motum ejus nil mutat, vis autem altera *TT* motum ejus in curva *STRQ* directe accelerat vel directe retardat. Proinde cum hæc

fit ut via describenda *TR*, accelerationes corporis vel retardationes in oscillationum duarum (majoris & minoris) partibus proportionalibus describendis, erunt semper ut partes illæ, & propterea fa-



cient ut partes illæ simul describantur. Corpora autem quæ partes totis semper proportionales simul describunt, simul describent totas. *Q. E. D.*

*Corol. I.* Hinc si corpus *T*, filo rectilineo *AT* a centro *A* pendens, describat arcum circulem *STRQ*, & interea urgeatur secundum lineas parallelas deorsum a vi aliqua, quæ sit ad vim uniformem gravitatis, ut arcus *TR* ad ejus sinum *TN*: æqualia erunt oscillationum singularum tempora. Et enim ob parallelas *TZ*, *AR*, similia erunt triangula *ATN*, *ZTT*; & propterea *TZ* erit ad *AT* ut *TT* ad *TN*; hoc est, si gravitatis vis uniformis exponatur per longitudinem datam *AT*; vis *TZ*, qua

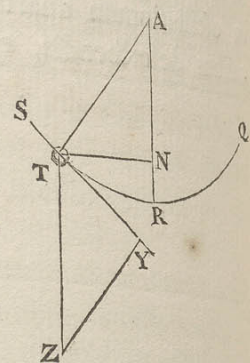




DE MOTU  
CORPORUM

$TZ$ , qua oscillationes evadent isochronæ, erit ad vim gravitatis  $AT$ , ut arcus  $TR$  ipsi  $TT$  æqualis ad arcus illius finem  $TN$ .

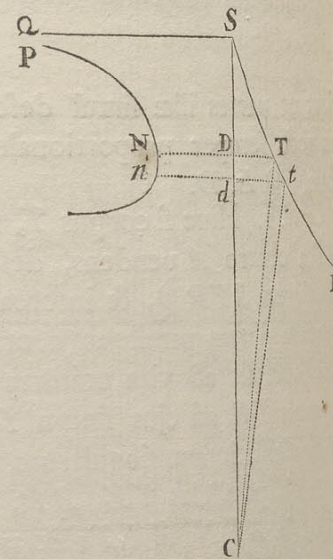
*Corol. 2.* Et propterea in horologiis, si vires a machina in pendulum ad motum conservandum impressæ ita cum vi gravitatis componi possint, ut vis tota deorsum semper sit ut linea quæ oritur applicando rectangulum sub arcu  $TR$  & radio  $AR$  ad finem  $TN$ , oscillationes omnes erunt isochronæ.



## PROPOSITIO LIV. PROBLEMA XXXVI.

*Concessis figurarum curvilinearum quadraturis, invenire tempora, quibus corpora vi qualibet centripeta in lineis quibuscunque curvis, in plano per centrum virium transeunte descriptis, descendant & ascendant.*

Descendat corpus de loco quovis  $S$ , per lineam quamvis curvam  $STtR$  in plano per virium centrum  $C$  transeunte datam. Jungetur  $CS$  & dividatur eadem in partes innumeras æquales, sitque  $Dd$  partium illarum aliqua. Centro  $C$  intervallis  $CD$ ,  $Cd$  describantur circuli  $DT$ ,  $dt$ , lineæ curvæ  $STtR$  occurrentes in  $T$  &  $t$ . Et ex data tum lege vis centripetæ, tum altitudine  $CS$  de qua corpus cecidit; dabitur velocitas corporis in alia quavis altitudine  $CT$  (per prop. xxxix.) Tempus autem, quo corpus describit lineolam  $Tt$ , est ut lineolæ hujus longitudo, id est, ut secans anguli  $tTC$  directe; & velocitas inverse. Tempori huic proportionalis sit ordinatim applicata  $DN$  ad rectam  $CS$  per punctum  $D$  perpendicularis.



## PRINCIPIA MATHEMATICA.

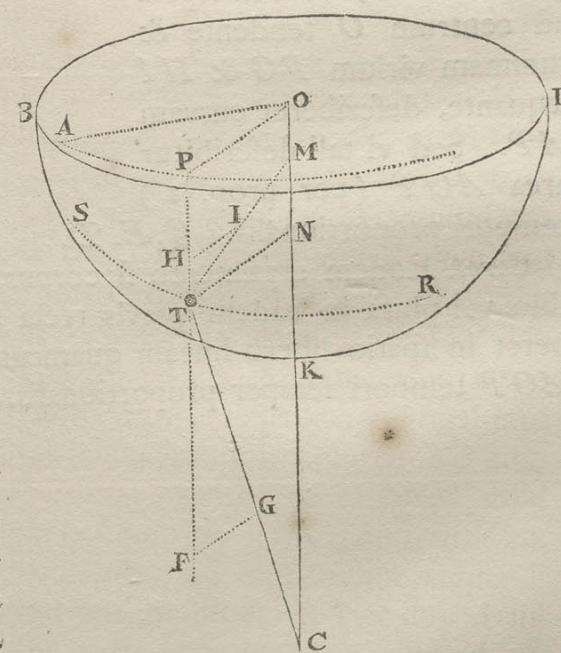
LIBER  
PRIMUS.

pendicularis, & ob datam  $Dd$  erit rectangulum  $Dd \times DN$ , hoc est area  $DNnd$ , eidem tempore proportionale. Ergo si  $PNn$  sit curva illa linea quam punctum  $N$  perpetuo tangit, ejusque asymptotos sit recta  $SQ$  rectæ  $CS$  perpendiculariter insitens: erit area  $SQP$   $ND$  proportionalis tempore quo corpus descendendo descripsit lineam  $ST$ ; proindeque ex inventa illa area dabitur tempus. *Q.E.I.*

## PROPOSITIO LV. THEOREMA XIX.

*Si corpus movetur in superficie quacunque curva, cujus axis per centrum virium transit, & a corpore in axem demittatur perpendicularis, eique parallela & æqualis ab axis puncto quovis dato ducatur: dico quod parallela illa aream tempore proportionalem describet.*

Sit  $BKL$  superficies curva,  $T$  corpus in ea revolvens,  $STR$  trajectoria, quam corpus in eadem describit,  $S$  initium trajectoriæ,  $OMK$  axis superficiei curvæ,  $TN$  recta a corpore in axem perpendicularis,  $OP$  huic parallela & æqualis a puncto  $O$ , quod in axe datur, educta;  $AP$  vestigium trajectoriæ a puncto  $P$  in lineæ volubilis  $OP$  plano  $AOP$  descriptum;  $A$  vestigii initium puncto  $S$  respondens;  $TC$  recta a corpore ad centrum ducta;  $TG$  pars ejus vi centripetæ, qua corpus urgetur in centrum  $C$ , proportionalis;  $TM$  recta ad superficiem curvam perpendicularis;  $TI$  pars ejus vi pressiois, qua corpus urget superficiem vicissimque urgetur versus  $M$  a superficie, proportionalis;  $PTF$  recta axi parallela per corpus tranfrens, &  $GF$ ,  $IH$  rectæ a punctis  $G$  &  $I$









rendo prop. xli. cum corol. suo 2.) ratio determinandi curvam  $APp$  facile apparet. Tum ex singulis vestigii punctis  $P$ , erigendo ad planum  $AOP$  perpendiculara  $PT$  superficiei curvæ occurrentia in  $T$ , dabuntur singula trajectoriæ puncta  $T$ .  $Q. E. I.$

## SECTIO XI.

*De motu corporum viribus centripetis se mutuo petentium.*

Haftenus exposui motus corporum attractorum ad centrum immobile, quale tamen vix extat in rerum natura. Attractiones enim fieri solent ad corpora; & corporum trahentium & attractorum actiones semper mutuæ sunt & æquales, per legem tertiam: adeo ut neque attrahens possit quiescere neque attractum, si duo sint corpora, sed ambo (per legem corollarium quartum) quasi attractione mutua, circum gravitatis centrum commune revolvantur: & si plura sint corpora, quæ vel ab unico attrahantur, & idem attrahant, vel omnia se mutuo attrahant; hæc ita inter se moveri debeant, ut gravitatis centrum commune vel quiescat, vel uniformiter moveatur in directum. Qua de causa jam pergo motum exponere corporum se mutuo trahentium, considerando vires centripetas tanquam attractiones, quamvis fortasse, si physice loquamur, verius dicantur impulsus. In mathematicis enim jam versamur; & propterea, missis disputationibus physicis, familiari utimur sermone, quo possimus a lectoribus mathematicis facilius intelligi.

## PROPOSITIO LVII. THEOREMA XX.

*Corpora duo se invicem trahentia describunt, & circum commune centrum gravitatis, & circum se mutuo, figuras similes.*

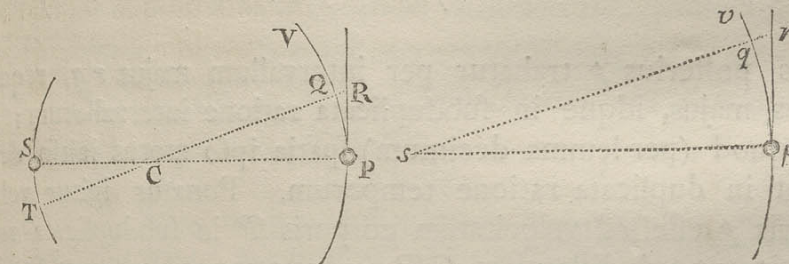
Sunt enim distantiae corporum a communi gravitatis centro reciproce proportionales corporibus; atque ideo in data ratione ad invicem, & componendo in data ratione ad distantiam totam inter corpora. Feruntur autem hæ distantiae circum terminum suum communem

communem æquali motu angulari, propterea quod in directum semper jacentes non mutant inclinationem ad se mutuo. Lineæ autem rectæ, quæ sunt in data ratione ad invicem, & æquali motu angulari circum terminos suos feruntur, figuras circum eosdem terminos in planis, quæ una cum his terminis vel quiescunt, vel motu quovis non angulari moventur, describunt omnino similes. Proinde similes sunt figuræ, quæ his distantis circumactis describuntur.  $Q. E. D.$

## PROPOSITIO LVIII. THEOREMA XXI.

*Si corpora duo viribus quibuscumque se mutuo trahunt, & interea revolvuntur circa gravitatis centrum commune: dico quod figuris, quas corpora sic mota describunt circum se mutuo, potest figura similis & æqualis, circum corpus alterutrum immotum, viribus iisdem describi.*

Revolvantur corpora  $S, P$  circa commune gravitatis centrum  $C$ , pergendo de  $S$  ad  $T$ , deque  $P$  ad  $Q$ . A dato puncto  $s$  ipsis  $SP$ ,  $TQ$  æquales & parallelæ ducantur semper  $sp, sq$ ; & curva  $pqv$ , quam punctum  $p$  revolvendo circum punctum immotum  $s$  describit, erit similis & æqualis curvis, quas corpora  $S, P$  describunt circum se mutuo: proindeque (per theor. xx.) similis curvis  $ST$  &  $PQV$ .

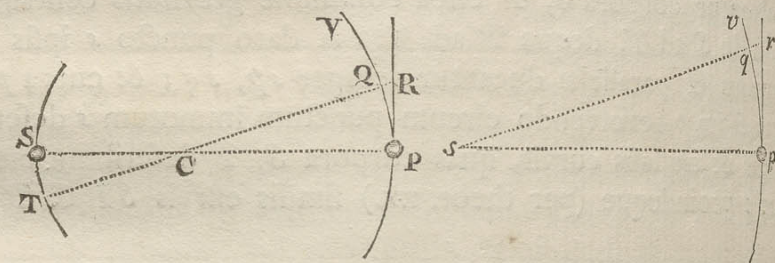


quas eadem corpora describunt circum commune gravitatis centrum  $C$ : idque quia proportionales linearum  $SC, CP$ , &  $SP$  vel  $sp$  ad invicem dantur.

Cas. 1. Commune illud gravitatis centrum  $C$ , per legem corollarium quartum, vel quiescit, vel movetur uniformiter in directum. Ponamus primo, quod id quiescit, inque  $s$  &  $p$  locentur corpora duo,



duo, immobile in  $s$ , mobile in  $p$ , corporibus  $S$  &  $P$  similia & æqualia. Dein tangant rectæ  $PR$  &  $pr$  curvas  $PQ$  &  $pq$  in  $P$  &  $p$  & producantur  $CQ$  &  $sq$  ad  $R$  &  $r$ . Et ob similitudinem figurarum  $CPRQ$ ,  $sprq$  erit  $RQ$  ad  $rq$  ut  $CP$  ad  $sp$ , ideoque in data versus centrum intermedium  $C$  attrahitur, esset ad vim, qua corpus  $p$  versus centrum  $s$  attrahitur, in eadem illa ratione data; hæc vires æqualibus temporibus attraherent semper corpora de tangentibus  $PR$ ,  $pr$  ad arcus  $PQ$ ,  $pq$  per intervalla ipsis proportionalia  $RQ$ ,  $rq$ , ideoque vis posterior efficeret, ut corpus  $p$  gyraretur in curva  $pqv$ , quæ similis esset curvæ  $PQV$ , in qua vis prior efficit, ut corpus  $P$  gyretur; & revolutiones iisdem temporibus complerentur. At quoniam vires illæ non sunt ad invicem in ratione  $CP$  ad  $sp$ , sed (ob similitudinem & æqualitatem corporum  $S$  &  $s$ ,  $P$  &  $p$ , & æqualitatem distantiarum  $SP$ ,  $sp$ ) sibi mutuo æquales; corpora æqualibus temporibus æqualiter trahentur de tangentibus: & propterea, ut



corpus posterius  $p$  trahatur per intervallum majus  $rq$ , requiritur tempus majus, idque in subduplicata ratione intervallorum; propterea quod (per lemma decimum) spatia ipso motus initio descripta sunt in duplicata ratione temporum. Ponatur igitur velocitas corporis  $p$  esse ad velocitatem corporis  $P$  in subduplicata ratione distantiae  $sp$  ad distantiam  $CP$ , eo ut temporibus, quæ sint in eadem subduplicata ratione, describantur arcus  $pq$ ,  $PQ$ , qui sunt in ratione integra: Et corpora  $P$ ,  $p$  viribus æqualibus semper attracta describent circum centra quiescentia  $C$  &  $s$  figuras similes  $PQV$ ,  $pqv$ , quarum posterior  $pqv$  similis est & æqualis figuræ, quam corpus  $P$  circum corpus mobile  $S$  describit. *Q. E. D.*

*Cas. 2.* Ponamus jam quod commune gravitatis centrum, una cum spatio in quo corpora moventur inter se, progreditur uniformiter

miter in directum; & (per legem corollarium sextum) motus omnes in hoc spatio peragentur ut prius, ideoque corpora describent circum se mutuo figuras easdem ac prius, & propterea figuræ  $pqv$  similes & æquales. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc corpora duo viribus distantiae suæ proportionalibus se mutuo trahentia, describunt (per prop. x.) & circum commune gravitatis centrum, & circum se mutuo, ellipses concentricas; & vice versa, si tales figuræ describuntur, sunt vires distantiae proportionales.

*Corol. 2.* Et corpora duo, viribus quadrato distantiae suæ reciproce proportionalibus, describunt (per prop. xi. xii. xiii.) & circum commune gravitatis centrum, & circum se mutuo, sectiones conicas umbilicum habentes in centro, circum quod figuræ describuntur. Et vice versa, si tales figuræ describuntur, vires centripetæ sunt quadrato distantiae reciproce proportionales.

*Corol. 3.* Corpora duo quævis circum gravitatis centrum commune gyratione, radiis & ad centrum illud & ad se mutuo ductis, describunt areas temporibus proportionales.

## PROPOSITIO LIX. THEOREMA XXII.

Corporum duorum  $S$  &  $P$ , circa commune gravitatis centrum  $C$  revolvantium, tempus periodicum esse ad tempus periodicum corporis alterutrius  $P$ , circa alterum immotum  $S$  gyrantis, & figuris, quæ corpora circum se mutuo describunt, figuram similem & æqualem describentis, in subduplicata ratione corporis alterius  $S$ , ad summam corporum  $S+P$ .

Namque, ex demonstratione superioris propositionis, tempora, quibus arcus quivis similes  $PQ$  &  $pq$  describuntur, sunt in subduplicata ratione distantiarum  $CP$  &  $SP$  vel  $sp$ , hoc est, in subduplicata ratione corporis  $S$  ad summam corporum  $S+P$ . Et componendo, summæ temporum quibus arcus omnes similes  $PQ$  &  $pq$  describuntur, hoc est, tempora tota, quibus figuræ totæ similes describuntur, sunt in eadem subduplicata ratione. *Q. E. D.*



## PROPOSITIO LX. THEOREMA XXIII.

*Si corpora duo S & P, viribus quadrato distantiae suae reciproce proportionalibus, se mutuo trahentia, revolvuntur circa gravitatis centrum commune: dico quod ellipseos, quam corpus alterutrum P hoc motu circa alterum S describit, axis principalis erit ad axem principalem ellipseos, quam corpus idem P circa alterum quiescens S eodem tempore periodico describere posset, ut summa corporum duorum S+P ad primum duorum medie proportionalium inter hanc summam & corpus illud alterum S.*

Nam si descriptæ ellipseos essent sibi invicem æquales, tempora periodica (per theorema superius) forent in subduplicata ratione corporis S ad summam corporum S+P. Minuatur in hac ratione tempus periodicum in ellipsi posteriore, & tempora periodica erant æqualia; ellipseos autem axis principalis (per prop. xv.) minuetur in ratione, cujus hæc est sesquuplicata, id est in ratione, cujus ratio S ad S+P est triplicata; ideoque erit ad axem principalem ellipseos alterius, ut primum duorum medie proportionalium inter S+P & S ad S+P. Et inverse, axis principalis ellipseos circa corpus mobile descriptæ erit ad axem principalem descriptæ circa immobile, ut S+P ad primum duorum medie proportionalium inter S+P & S. Q. E. D.

## PROPOSITIO LXI. THEOREMA XXIV.

*Si corpora duo viribus quibuscumque se mutuo trahentia, neque alias agitata vel impedita, quomodocunque moveantur; motus eorum perinde se habebunt, ac si non traherent se mutuo, sed utrumque a corpore tertio in communi gravitatis centro constituto viribus iisdem traheretur: Et virium trahentium eadem erit lex respectu distantiae corporum a centro illo communi atque respectu distantiae totius inter corpora.*

Nam

Nam vires illæ, quibus corpora se mutuo trahunt, tendendo ad corpora, tendunt ad commune gravitatis centrum intermedium; ideoque eadem sunt, ac si a corpore intermedio manarent. Q. E. D.

Et quoniam datur ratio distantiae corporis utriusvis a centro illo communi ad distantiam inter corpora, dabitur ratio cujusvis potestatis distantiae unius ad eandem potestatem distantiae alterius; ut & ratio quantitatis cujusvis, quæ ex una distantia & quantitibus datis utcumque derivatur, ad quantitatem aliam, quæ ex altera distantia, & quantitibus totidem datis, datamque illam distantiarum rationem ad priores habentibus similiter derivatur. Proinde si vis, qua corpus unum ab altero trahitur, sit directe vel inverse ut distantia corporum ab invicem; vel ut quælibet hujus distantiae potestas; vel denique ut quantitas quævis ex hac distantia & quantitibus datis quomodocunque derivata: erit eadem vis, qua corpus idem ad commune gravitatis centrum trahitur, directe itidem vel inverse ut corporis attracti distantia a centro illo communi, vel ut eadem distantiae hujus potestas, vel denique ut quantitas ex hac distantia & analogis quantitibus datis similiter derivata. Hoc est, vis trahentis eadem erit lex respectu distantiae utriusque. Q. E. D.

## PROPOSITIO LXII. PROBLEMA XXXVIII.

*Corporum duorum, quæ viribus quadrato distantiae suae reciproce proportionalibus se mutuo trahunt, ac de locis datis demittuntur, determinare motus.*

Corpora (per theorema novissimum) perinde movebuntur, ac si a corpore tertio in communi gravitatis centro constituto traherentur; & centrum illud ipso motus initio quiescet per hypothesin; & propterea (per legum corol. 4.) semper quiescet. Determinandi sunt igitur motus corporum (per prob. xxv.) perinde ac si a viribus ad centrum illud tendentibus urgerentur, & habebuntur motus corporum se mutuo trahentium. Q. E. I.

PROPO.



## PROPOSITIO LXIII. PROBLEMA XXXIX.

*Corporum duorum quæ viribus quadrato distantie suæ reciproce proportionalibus se mutuo trahunt, deque locis datis, secundum datas rectas, datis cum velocitatibus exeunt, determinare motus.*

Ex datis corporum motibus sub initio, datur uniformis motus centri communis gravitatis, ut & motus spatii, quod una cum hoc centro movetur uniformiter in directum, nec non corporum motus initiales respectu hujus spatii. Motus autem subsequentes (per legum corollarium quintum, & theorema novissimum) perinde fiunt in hoc spatio, ac si spatium ipsum una cum communi illo gravitatis centro quiesceret, & corpora non traherent se mutuo, sed a corpore tertio sito in centro illo traherentur. Corporis igitur alterutrum in hoc spatio mobili, de loco dato, secundum datam rectam, data cum velocitate exeuntis, & vi centripeta ad centrum illud tendente correpti, determinandus est motus per problema novum & vicesimum sextum: & habebitur simul motus corporis alterius circum idem centrum. Cum hoc motu componendus est uniformis ille systematis spatii & corporum in eo gyrantium motus progressivus supra inventus, & habebitur motus absolutus corporum in spatio immobili. *Q. E. I.*

## PROPOSITIO LXIV. PROBLEMA XL.

*Viribus quibus corpora se mutuo trahunt crescentibus in simplici ratione distantiarum a centrīs: requiruntur motus plurimum corporum inter se.*

Ponantur primo corpora duo  $T$  &  $L$  commune habentia gravitatis centrum  $D$ . Describent hæc (per corollarium primum theorematis XXI.) ellipses centra habentes in  $D$ , quarum magnitudo ex problemate v. innotescit.

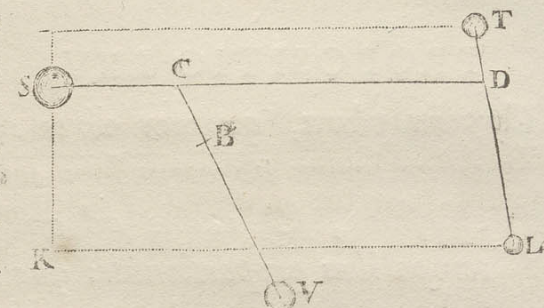
Trahat jam corpus tertium  $S$  priora duo  $T$  &  $L$  viribus acceleratricibus  $ST$ ,  $SL$ , & ab ipsis vicissim trahatur. Vis  $ST$  (per legum corol.

## PRINCIPIA MATHEMATICA. 167

corol. 2.) resolvitur in vires  $SD$ ,  $DT$ ; & vis  $SL$  in vires  $SD$ ,  $DL$ . Vires autem  $DT$ ,  $DL$ , quæ sunt ut ipsarum summa  $TL$ , atque ideo ut vires acceleratrices quibus corpora  $T$  &  $L$  se mutuo trahunt, additæ his viribus corporum  $T$  &  $L$ , prior priori & posterior posteriori, componunt vires distantis  $DT$  ac  $DL$  proportionales, ut prius, sed viribus prioribus majores; ideoque (per corol. I. prop. x. & corol. I. & 8. prop. IV.) efficiunt ut corpora illa describant ellipses ut prius, sed motu celeriore. Vires reliquæ acceleratrices  $SD$  &  $SD$ , actionibus motricibus  $SD \times T$  &  $SD \times L$ , quæ sunt ut corpora, trahendo corpora illa æqualiter & secundum lineas  $TI$ ,  $LK$ , ipsi  $DS$  parallelas, nil mutant situs eorum ad invicem, sed faciunt ut ipsa æqualiter accedant ad lineam  $IK$ ; quam ductam concipe per medium corporis  $S$ , & lineam  $DS$  perpendiculararem. Impedietur autem iste ad lineam  $IK$  accessus faciendo ut systema corporum  $T$  &  $L$  ex una parte, & corpus  $S$  ex altera, justis cum velocitatibus, gyrentur circa commune gravitatis centrum  $C$ . Tali motu corpus  $S$ , eo quod summa virium motricium  $SD \times T$  &  $SD \times L$ , distantia  $CS$  proportionalium, tendit versus centrum  $C$ , describit ellipsin circa idem  $C$ ; & punctum  $D$ , ob proportionales  $CS$ ,  $CD$ , describet ellipsin consimilem e regione. Corpora autem  $T$  &  $L$  viribus motricibus  $SD \times T$  &  $SD \times L$ , prius priore, posterius posteriore, æqualiter & secundum lineas parallelas  $TI$  &  $LK$ , ut dictum est, attracta, pergent (per legum corollarium quintum & sextum) circa centrum mobile  $D$  ellipses suas describere, ut prius. *Q. E. I.*

Addatur jam corpus quartum  $V$ , & simili argumento concludetur hoc & punctum  $C$  ellipses circa omnium commune centrum gravitatis  $B$  describere; manentibus motibus priorum corporum  $T$ ,  $L$  &  $S$  circa centra  $D$  &  $C$ , sed acceleratis. Et eadem methodo corpora plura adjungere licebit. *Q. E. I.*

Hæc ita se habent, etsi corpora  $T$  &  $L$  trahunt se mutuo viribus acceleratricibus majoribus vel minoribus quam quibus trahunt corpora reliqua pro ratione distantiarum. Sunt mutua omnium attractiones

LIBER  
PRIMUS.



nes acceleratrices ad invicem ut distantia ductæ in corpora trahentia, & ex præcedentibus facile deducetur quod corpora omnia æqualibus temporibus periodicis ellipses varias, circa omnium commune gravitatis centrum *B*, in plano immobili describunt. *Q. E. I.*

## PROPOSITIO LXV. THEOREMA XXV.

*Corpora plura, quorum vires decrescunt in duplicata ratione distantiarum ab eorundem centris, moveri posse inter se in ellipsis; & radiis ad umbilicos ductis areas describere temporibus proportionales quam proxime.*

In propositione superiore demonstratus est casus ubi motus plures peraguntur in ellipsis accurate. Quo magis recedit lex virium a lege ibi posita, eo magis corpora perturbabunt mutuos motus; neque fieri potest, ut corpora, secundum legem hic positam se mutuo trahentia, moveantur in ellipsis accurate, nisi servando certam proportionem distantiarum ab invicem. In sequentibus autem casibus non multum ab ellipsis errabitur.

*Cas. 1.* Pone corpora plura minora circa maximum aliquod ad varias ab eo distantias revolvi, tendantque ad singula vires absolutæ proportionales iisdem corporibus. Et quoniam omnium commune gravitatis centrum (per legum corol. quartum) vel quiescit vel movetur uniformiter in directum, fingamus corpora minora tam parva esse, ut corpus maximum nunquam distet sensibiliter ab hoc centro; & maximum illud vel quiescet, vel movebitur uniformiter in directum, sine errore sensibili; minora autem revolvuntur circa hoc maximum in ellipsis, atque radiis ad idem ductis describent areas temporibus proportionales; nisi quatenus errores inducuntur, vel per errorem maximi a communi illo gravitatis centro, vel per actiones minorum corporum in se mutuo. Diminui autem possunt corpora minora, usque donec error iste, & actiones mutue sint datis quibusvis minores; atque ideo donec orbes cum ellipsis quadrent, & areas respondeant temporibus, sine errore, qui non sit minor quovis dato. *Q. E. O.*

*Cas.*

*Cas. 2.* Fingamus jam systema corporum minorum modo jam descripto circa maximum revolvendum, aliudve quodvis duorum circum se mutuo revolvendum corporum systema progredi uniformiter in directum, & interea vi corporis alterius longe maximi & ad magnam distantiam siti urgeri ad latus. Et quoniam æquales vires acceleratrices, quibus corpora secundum lineas parallelas urgentur, non mutant situs corporum ad invicem, sed ut systema totum, servatis partium motibus inter se, simul transferatur, efficiunt: manifestum est quod, ex attractionibus in corpus maximum, nulla profusus oriatur mutatio motus attractorum inter se, nisi vel ex attractionum acceleratricum inæqualitate, vel ex inclinatione linearum ad invicem, secundum quas attractiones fiunt. Pone ergo attractiones omnes acceleratrices in corpus maximum esse inter se reciproce ut quadrata distantiarum; & augendo corporis maximi distantiam, donec rectarum ab hoc ad reliqua ductarum differentia respectu earum longitudinis, & inclinationes ad invicem minores sint, quam data quævis; perseverabunt motus partium systematis inter se sine erroribus, qui non sint quibusvis datis minores. Et quoniam, ob exiguum partium illarum ab invicem distantiam, systema totum ad modum corporis unius attrahitur; movebitur idem hac attractione ad modum corporis unius; hoc est, centro suo gravitatis describet circa corpus maximum sectionem aliquam conicam (*viz.* Hyperbolam vel parabolam attractione languida, ellipsin fortiore) & radio ad maximum ducto describet areas temporibus proportionales, sine ullis erroribus, nisi quas partium distantia, perexiguæ sane & pro lubitu minuendæ, valeant efficere. *Q. E. O.*

Simili argumento pergere licet ad casus magis compositos in infinitum.

*Corol. 1.* In casu secundo, quo propius accedit corpus omnium maximum ad systema duorum vel plurium, eo magis turbabuntur motus partium systematis inter se; propterea quod linearum a corpore maximo ad has ductarum jam major est inclinatio ad invicem, majorque proportionis inæqualitas.

*Corol. 2.* Maxime autem turbabuntur, ponendo quod attractiones acceleratrices partium systematis, versus corpus omnium maximum, non sint ad invicem reciproce ut quadrata distantiarum a corpore illo maximo; præsertim si proportionis hujus inæqualitas major sit

Z

quam



DE MOTU  
CORPORUM

quam inæqualitas proportionis distantiarum a corpore maximo. Nam si vis acceleratrix, æqualiter & secundum lineas parallelas agendo, nil perturbat motus inter se, necesse est, ut ex actionis inæqualitate perturbatio oriatur, majorque sit, vel minor pro majore, vel minore inæqualitate. Excessus impulsuum majorum, agendo in aliqua corpora & non agendo in alia, necessario mutabunt situm eorum inter se. Et hæc perturbatio addita perturbationi, quæ ex linearum inclinatione & inæqualitate oritur, majorem reddet perturbationem totam.

*Corol. 3.* Unde si systematis hujus partes in ellipsis, vel circulis sine perturbatione insigni moveantur; manifestum est, quod eadem a viribus acceleratricibus, ad alia corpora tendentibus, aut non urgentur nisi levissime, aut urgentur æqualiter, & secundum lineas parallelas quamproxime.

## PROPOSITIO LXVI. THEOREMA XXVI.

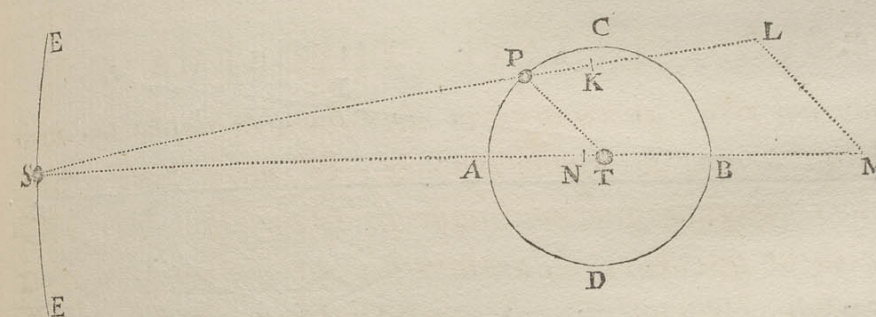
*Si corpora tria, quorum vires decrescunt in duplicata ratione distantiarum, se mutuo trahant; & attractiones acceleratrices binorum quorumcunque in tertium sint inter se reciproce ut quadrata distantiarum; minora autem circa maximum revolvantur: dico quod interius circa intimum & maximum, radiis ad ipsum ductis, describet areas temporibus magis proportionales, & figuram ad formam ellipseos umbilicum in concursu radiorum habentis magis accedentem; si corpus maximum his attractionibus agitur; quam si maximum illud vel a minoribus non attractum quiescat, vel multo minus vel multo magis attractum, aut multo minus aut multo magis agitur.*

Liquet fere ex demonstratione corollarii secundi propositionis præcedentis; sed argumento magis distincto & latius cogente sic evincitur.

*Cas. 1.* Revolvantur corpora minora  $P$  &  $S$  in eodem plano circa maximum  $T$ , quorum  $P$  describat orbem interiorem  $PAB$ , &  $S$  exteriorem

LIBER  
PRIMUS.

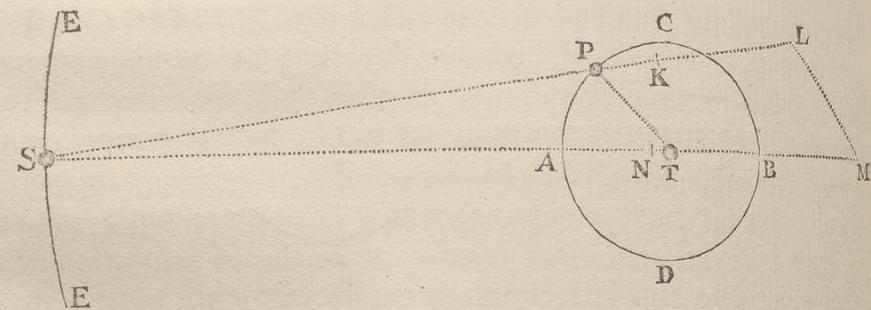
teriorem  $ESE$ . Sit  $SK$  mediocris distantia corporum  $P$  &  $S$ ; & corporis  $P$  versus  $S$  attractio acceleratrix, in mediocri illa distantia, exponatur per eandem. In duplicata ratione  $SK$  ad  $SP$  capiatur  $SL$  ad  $SK$ , & erit  $SL$  attractio acceleratrix corporis  $P$  versus  $S$  in distantia quavis  $SP$ . Junge  $PT$ , eique parallelam age  $LM$  occurrentem  $ST$  in  $M$ ; & attractio  $SL$  resolvetur (per legem corol. 2.) in attractiones  $SM$ ,  $LM$ . Et sic urgebitur corpus  $P$  vi acceleratrice triplici. Vis una tendit ad  $T$ , & oritur a mutua attractione corporum  $T$  &  $P$ . Hac vi sola corpus  $P$  circum corpus  $T$ , sive immotum, sive hac attractione agitur, describere deberet & areas, radio  $PT$ , temporibus proportionales, & ellipsin cui umbilicus est in centro corporis  $T$ . Patet hoc per prop. xi. & corollaria 2. & 3. theor. xxi. Vis altera est attractionis  $LM$ , quæ quoniam tendit a  $P$  ad  $T$ , su-



peraddita vi priori coincidet cum ipsa, & sic faciet ut areae etiamnum temporibus proportionales describantur per corol. 3. theor. xxi. At quoniam non est quadrato distantiae  $PT$  reciproce proportionalis, componet ea cum vi priore vim ab hac proportionem aberrantem, idque eo magis, quo major est proportio hujus vis ad vim priorem, cæteris paribus. Proinde cum (per prop. xi. & per corol. 2. theor. xxi.) vis, qua ellipsis circa umbilicum  $T$  describitur, tendere debeat ad umbilicum illum, & esse quadrato distantiae  $PT$  reciproce proportionalis; vis illa composita, aberrando ab hac proportionem, faciet ut orbis  $PAB$  aberret a forma ellipseos umbilicum habentis in  $T$ ; idque eo magis, quo major est aberratio ab hac proportionem; atque ideo etiam quo major est proportio vis secundæ  $LM$  ad vim primam, cæteris paribus. Jam vero vis tertia  $SM$ , trahendo corpus  $P$  secundum lineam ipsi  $ST$  parallelam, componet cum viribus prioribus vim, quæ non amplius dirigitur a  $P$  in  $T$ ; quæque



quæque ab hac determinatione tanto magis aberrat, quanto major est proportio hujus tertiæ vis ad vires priores, cæteris paribus: atque ideo quæ faciet ut corpus  $P$ , radio  $TP$ , areas non amplius temporibus proportionales describat; atque ut aberratio ab hac hujus tertiæ ad vires cæteras. Orbis vero  $PAB$  aberrationem a forma elliptica præfata hæc vis tertia duplici de causa adaugebit, tum quod non dirigatur a  $P$  ad  $T$ , tum etiam quod non sit reciproce proportionalis quadrato distantia  $PT$ . Quibus intellectis, manifestum est, quod area temporibus tum maxime sunt proportionales, ubi vis tertia, manentibus viribus cæteris, fit minima; & quod orbis  $PAB$  tum maxime accedit ad præfatam formam ellipticam, ubi vis tam secunda quam tertia, sed præcipue vis tertia fit minima, vi prima manente.



Exponatur corporis  $T$  attractio acceleratrix versus  $S$  per lineam  $SN$ ; & si attractiones acceleratrices  $SM$ ,  $SN$  æquales essent; hæc trahendo corpora  $T$  &  $P$  æqualiter & secundum lineas parallelas, nil mutarent situm eorum ad invicem. Idem jam forent corporum illorum motus inter se (per legem corol. vi.) ac si hæc attractiones tollerentur. Et pari ratione si attractio  $SN$  minor esset attractione  $SM$ , tolleret ipsa attractionis  $SM$  partem  $SN$ , & maneret pars sola  $MN$ , qua temporum & arearum proportionalitas & orbitæ forma illa elliptica perturbaretur. Et similiter si attractio  $SN$  major esset attractione  $SM$ , oriretur ex differentia sola  $MN$  perturbatio proportionalitatis & orbitæ. Sic per attractionem  $SN$  reducitur semper attractio tertia superior  $SM$  ad attractionem  $MN$ , attractione prima & secunda manentibus prorsus immutatis: & propterea area ac tempora ad proportionalitatem, & orbita  $PAB$  ad formam præ-

fatam ellipticam tum maxime accedunt, ubi attractio  $MN$  vel nulla est, vel quam fieri possit minima; hoc est, ubi corporum  $P$  &  $T$  attractiones acceleratrices, factæ versus corpus  $S$ , accedunt quantum fieri potest ad æqualitatem; id est, ubi attractio  $SN$  non est nulla, neque minor minima attractionum omnium  $SM$ , sed inter attractionum omnium  $SM$  maximam & minimam quasi mediocris, hoc est, non multo major neque multo minor attractione  $SK$ . *Q.E.D.*

*Corol. 2.* Revolvantur jam corpora minora  $P$ ,  $S$  circa maximum  $T$  in planis diversis; & vis  $LM$ , agendo secundum lineam  $PT$  in plano orbitæ  $PAB$  sitam, eundem habebit effectum ac prius, neque corpus  $P$  de plano orbitæ suæ deturbabit. At vis altera  $NM$ , agendo secundum lineam quæ ipsi  $ST$  parallela est (atque ideo, quando corpus  $S$  versatur extra lineam nodorum, inclinatur ad planum orbitæ  $PAB$ ) præter perturbationem motus in longitudinem jam ante expositam, inducet perturbationem motus in latitudinem, trahendo corpus  $P$  de plano suæ orbitæ. Et hæc perturbatio, in dato quovis corporum  $P$  &  $T$  ad invicem situ, erit ut vis illa generans  $MN$ , ideoque minima evadet ubi  $MN$  est minima, hoc est (uti jam exposui) ubi attractio  $SN$  non est multo major, neque multo minor attractione  $SK$ . *Q.E.D.*

*Corol. 1.* Ex his facile colligitur, quod, si corpora plura minora  $P$ ,  $S$ ,  $R$ , &c. revolvantur circa maximum  $T$ , motus corporis intimi  $P$  minime perturbabitur attractionibus exteriorum, ubi corpus maximum  $T$  pariter a cæteris, pro ratione virium acceleratricum, attrahitur & agitur, atque cætera a se mutuo.

*Corol. 2.* In systemate vero trium corporum  $T$ ,  $P$ ,  $S$ , si attractiones acceleratrices binorum quorumcunque in tertium sint ad invicem reciproce ut quadrata distantiarum; corpus  $P$ , radio  $PT$ , aream circa corpus  $T$  velocius describet prope conjunctionem  $A$  & oppositionem  $B$ , quam prope quadraturas  $C$ ,  $D$ . Namque vis omnis qua corpus  $P$  urgetur & corpus  $T$  non urgetur, quæque non agit secundum lineam  $PT$  accelerat vel retardat descriptionem areæ, perinde ut ipsa in consequentia vel in antecedentia dirigatur. Talis est vis  $NM$ . Hæc in transitu corporis  $P$  a  $C$  ad  $A$  tendit in consequentia, motumque accelerat; dein usque ad  $D$  in antecedentia, & motum retardat; tum in consequentia usque ad  $B$ , & ultimo in antecedentia transeundo a  $B$  ad  $C$ .

*Corol.*

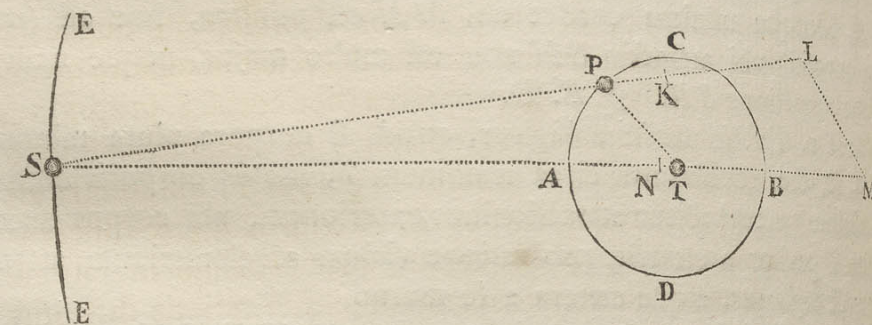


DE MOTU  
CORPORUM

*Corol. 3.* Et eodem argumento patet quod corpus  $P$ , cæteris paribus, velocius movetur in conjunctione & oppositione quam in quadraturis.

*Corol. 4.* Orbita corporis  $P$ , cæteris paribus, curvior est in quadraturis quam in conjunctione & oppositione. Nam corpora velociora minus defleunt a recto tramite. Et præterea vis  $KL$ , vel trahit corpus  $P$ ; ideoque vim illam minuit; corpus autem  $P$  minus defleat a recto tramite, ubi minus urgetur in corpus  $T$ .

*Corol. 5.* Unde corpus  $P$ , cæteris paribus, longius recedit a corpore  $T$  in quadraturis, quam in conjunctione & oppositione. Hæc ita se habent excluso motu excentricitatis. Nam si orbita corporis  $P$  excentrica sit, excentricitas ejus (ut mox in hujus corol. 9. ostenditur) evadet maxima ubi apsidæ sunt in syzygiis; indeque fieri potest ut corpus  $P$ , ad apsidem summam appellans, absit longius a corpore  $T$  in syzygiis quam in quadraturis.



*Corol. 6.* Quoniam vis centripeta corporis centralis  $T$ , qua corpus  $P$  retinetur in orbe suo, augetur in quadraturis per additionem vis  $LM$ , ac diminuitur in syzygiis per ablationem vis  $KL$ , & ob magnitudinem vis  $KL$ , magis diminuitur quam augetur; est autem vis illa centripeta (per corol. 2. prop. iv.) in ratione composita ex ratione simplici radii  $TP$  directe & ratione duplicata temporis periodici inverse: patet hanc rationem compositam diminui per actionem vis  $KL$ ; ideoque tempus periodicum, si maneat orbis radius  $TP$ , augeri, idque in subduplicata ratione, qua vis illa centripeta diminuitur: auctoque ideo vel diminuto hoc radio, tempus periodicum augeri magis, vel diminui minus quam in radii hujus ratione

LIBER  
PRIMUS

sesquuplicata, (per corol. vi. prop. iv.) Si vis illa corporis centralis paulatim langueretur, corpus  $P$  minus semper & minus attractum perpetuo recederet longius a centro  $T$ ; & contra, si vis illa augeretur, accederet propius. Ergo si actio corporis longinqui  $S$ , qua vis illa diminuitur, augetur ac diminuat per vices: augetur simul ac diminuetur radius  $TP$  per vices; & tempus periodicum augetur ac diminuetur in ratione composita ex ratione sesquuplicata radii, & ratione subduplicata, qua vis illa centripeta corporis centralis  $T$ , per incrementum vel decrementum actionis corporis longinqui  $S$ , diminuitur vel augetur.

*Corol. 7.* Ex præmissis consequitur etiam, quod ellipseos a corpore  $P$  descriptæ axis, seu apsidum linea, quoad motum angularem, progreditur & regreditur per vices, sed magis tamen progreditur, & per excessum progressionis fertur in consequentia. Nam vis qua corpus  $P$  urgetur in corpus  $T$  in quadraturis, ubi vis  $MN$  evanuit, componitur ex vi  $LM$  & vi centripeta, qua corpus  $T$  trahit corpus  $P$ . Vis prior  $LM$ , si augetur distantia  $PT$ , augetur in eadem fere ratione cum hac distantia, & vis posterior decrescit in duplicata illa ratione, ideoque summa harum virium decrescit in minore quam duplicata ratione distantie  $PT$ , & propterea (per corol. i. prop. xlv.) efficit ut aux, seu apsis summa, regrediatur. In conjunctione vero & oppositione vis, qua corpus  $P$  urgetur in corpus  $T$ , differentia est inter vim, qua corpus  $T$  trahit corpus  $P$ , & vim  $KL$ ; & differentia illa, propterea quod vis  $KL$  augetur quamproxime in ratione distantie  $PT$ , decrescit in majore quam duplicata ratione distantie  $PT$ , ideoque (per corol. i. prop. xlv.) efficit ut aux progrediatur. In locis inter syzygias & quadraturas pendet motus augis ex causa utraque conjunctim, adeo ut pro hujus vel alterius excessu progrediatur ipsa vel regrediatur. Unde cum vis  $KL$  in syzygiis sit quasi duplo major quam vis  $LM$  in quadraturis, excessus erit penes vim  $KL$ , transferetque augem in consequentia. Veritas autem hujus & præcedentis corollarii facilius intelligetur concipiendo systema corporum duorum  $T, P$  corporibus pluribus  $S, S, S$ , &c. in orbe  $ESE$  consistentibus, undique cingi. Namque horum actionibus actio ipsius  $T$  minuetur undique, decrescetque in ratione plusquam duplicata distantie.

Corol.

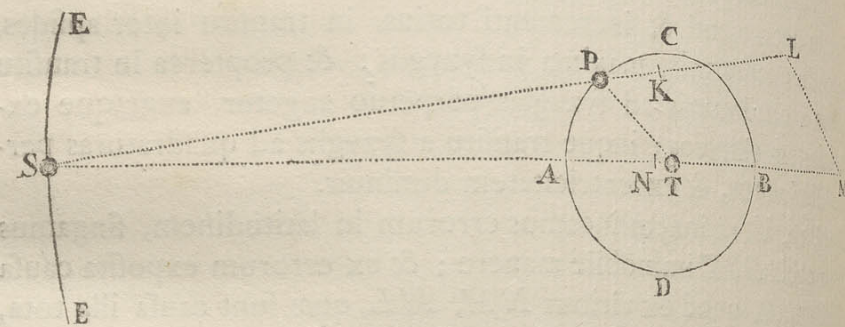






transitu per proximos 45 gradus, usque ad quadraturam proximam, inclinatio augetur, & postea denuo in transitu per alios 45 gradus inclinatio quam augetur, & propterea minor est semper in nodo subsequente quam in præcedente. Et simili ratiocinio, inclinatio magis augetur, quam diminuitur, ubi nodi sunt in octantibus alteris inter  $A$  &  $D$ ,  $B$  &  $C$ . Inclinatio igitur ubi nodi sunt in syzygiis est omnium maxima. In transitu eorum a syzygiis ad quadraturas, in singulis corporis ad nodos appulsibus, diminuitur; fitque omnium crecit iisdem gradibus, quibus antea decreverat; nodisque ad syzygias proximas appulsis, ad magnitudinem primam revertitur.

*Corol. 11.* Quoniam corpus  $P$ , ubi nodi sunt in quadraturis, perpetuo trahitur de plano orbis sui, idque in partem versus  $S$  in transitu suo a nodo  $C$  per conjunctionem  $A$  ad nodum  $D$ ; & in con-



trariam partem in transitu a nodo  $D$  per oppositionem  $B$  ad nodum  $C$ : manifestum est, quod in motu suo a nodo  $C$  corpus perpetuo recedit ab orbis sui plano primo  $CD$ , usque dum perventum est ad nodum proximum; ideoque in hoc nodo, longissime distans a plano illo primo  $CD$ , transiit per planum orbis  $EST$  non in plano illius nodo altero  $D$ , sed in puncto quod inde vergit ad partes corporis  $S$ , quodque proinde novus est nodi locus in anteriora vergens. Et simili argumento pergent nodi recedere in transitu corporis de hoc nodo in nodum proximum. Nodi igitur in quadraturis constituti perpetuo recedunt; in syzygiis, ubi motus in latitudinem nil perturbatur, quiescunt; in locis intermediis, conditionis utriusque participes,

cipes, recedunt tardius: ideoque, semper vel retrogradi, vel stationarii singulis revolutionibus feruntur in antecedentia.

*Corol. 12.* Omnes illi in his corollariis descripti errores sunt paulo majores in conjunctione corporum  $P$ ,  $S$ , quam in eorum oppositione; idque ob majores vires generantes  $NM$  &  $ML$ .

*Corol. 13.* Cumque rationes horum corollariorum non pendeant a magnitudine corporis  $S$ , obtinent præcedentia omnia, ubi corporis  $S$  tanta statuitur magnitudo, ut circa ipsum revolvatur corpus duorum  $T$  &  $P$  systema. Et ex aucto corpore  $S$ , auctaque ideo ipsius vi centripeta, a qua errores corporis  $P$  oriuntur, evadent errores illi omnes, paribus distantis, majores in hoc casu quam in altero, ubi corpus  $S$  circum systema corporum  $P$  &  $T$  revolvitur.

*Corol. 14.* Cum autem vires  $NM$ ,  $ML$ , ubi corpus  $S$  longinquum est, sint quamproxime ut vis  $SK$  & ratio  $PT$  ad  $ST$  conjunctim, hoc est, si detur tum distantia  $PT$ , tum corporis  $S$  vis absoluta, ut  $ST$  cub. reciproce; sint autem vires illæ  $NM$ ,  $ML$  causæ errorum & effectuum omnium, de quibus actum est in præcedentibus corollariis: manifestum est, quod effectus illi omnes, stante corporum  $T$  &  $P$  systemate, & mutatis tantum distantia  $ST$  & vi absoluta corporis  $S$ , sint quamproxime in ratione composita ex ratione directa vis absolutæ corporis  $S$ , & ratione triplicata inversa distantiae  $ST$ . Unde si systema corporum  $T$  &  $P$  revolvatur circa corpus longinquum  $S$ ; vires illæ  $NM$ ,  $ML$ , & earum effectus erunt (per corol. 2. & 6. prop. 14.) reciproce in duplicata ratione temporis periodici. Et inde etiam, si magnitudo corporis  $S$  proportionalis sit ipsius vi absolutæ, erunt vires illæ  $NM$ ,  $ML$ , & earum effectus directe ut cubus diametri apparentis longinqui corporis  $S$  e corpore  $T$  spectati, & vice versa. Namque hæ rationes eadem sunt, atque ratio superior composita.

*Corol. 15.* Et quoniam si, manentibus orbium  $ESE$  &  $PAB$  forma, proportionibus & inclinatione ad invicem, mutetur eorum magnitudo, & si corporum  $S$  &  $T$  vel maneant, vel mutantur vires in data quavis ratione; hæ vires (hoc est, vis corporis  $T$ , qua corpus  $P$  de recto tramite in orbitam  $PAB$  deflectere, & vis corporis  $S$ , qua corpus idem  $P$  de orbita illa deviare cogitur) agunt semper eodem modo, & eadem proportionem: necesse est ut similes & proportionales sint effectus omnes, & proportionalia effectuum tem-

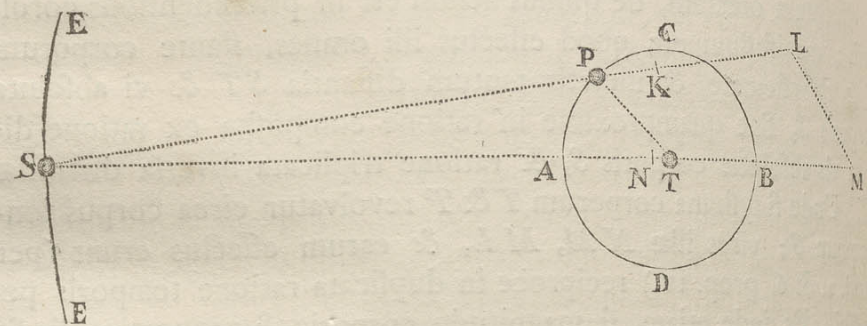
A a 2

pora;



pora; hoc est, ut errores omnes lineares sint ut orbium diametri, angulares vero iidem, qui prius, & errorum linearum similium, vel angularium æqualium tempora ut orbium tempora periodica.

*Corol. 16.* Unde, si dentur orbium formæ & inclinatio ad invicem, & mutentur utcumque corporum magnitudines, vires & distantie, ex datis erroribus & errorum temporibus in uno casu, colligi possunt errores & errorum tempora in alio quovis, quam proxime: sed brevius hac methodo. Vires  $NM$ ,  $ML$ , cæteris stantibus, sunt ut radius  $TP$ , & harum effectus periodici (per corol. 2. lem. x.) ut vires, & quadratum temporis periodici corporis  $P$  conjunctim. Hi sunt errores lineares corporis  $P$ ; & hinc errores angulares e centro  $T$  spectati (id est, tam motus augis & nodorum, quam omnes in longitudinem & latitudinem errores apparentes) sunt, in qualibet revolutione corporis  $P$ , ut quadratum temporis revolutionis quam proxime. Conjungantur hæ rationes cum rationibus corollarii xiv.



& in quolibet corporum  $T$ ,  $P$ ,  $S$  systemate, ubi  $P$  circum  $T$  sibi propinquum, &  $T$  circum  $S$  longinquum revolvitur, errores angulares corporis  $P$ , de centro  $T$  apparentes, erunt, in singulis revolutionibus corporis illius  $P$ , ut quadratum temporis periodici corporis  $P$  directe & quadratum temporis periodici corporis  $T$  inverse. Et inde motus medius augis erit in data ratione ad motum medium nodorum; & motus uterque erit ut tempus periodicum corporis  $P$  directe & quadratum temporis periodici corporis  $T$  inverse. Augendo vel minuendo excentricitatem & inclinationem orbis  $PAB$  non mutantur motus augis & nodorum sensibilibiter, nisi ubi eadem sunt nimis magnæ.

*Corol.*

*Corol. 17.* Cum autem linea  $LM$  nunc major sit nunc minor quam radius  $PT$ , exponatur vis mediocri  $LM$  per radium illum  $PT$ ; & erit hæc ad vim mediocrem  $SK$  vel  $SN$  (quam exponere licet per  $ST$ ) ut longitudo  $PT$  ad longitudinem  $ST$ . Est autem vis mediocri  $SN$  vel  $ST$ , qua corpus  $T$  retinetur in orbe suo circum  $S$ ; ad vim, qua corpus  $P$  retinetur in orbe suo circum  $T$ , in ratione composita ex ratione radii  $ST$  ad radium  $PT$ , & ratione duplicata temporis periodici corporis  $P$  circum  $T$  ad tempus periodicum corporis  $T$  circum  $S$ . Et ex æquo, vis mediocri  $LN$  ad vim, qua corpus  $P$  retinetur in orbe suo circum  $T$  (quævis corpus idem  $P$ , eodem tempore periodico, circum punctum quodvis immobile  $T$  ad distantiam  $PT$  revolvitur posset) est in ratione illa duplicata periodorum temporum. Datis igitur temporibus periodicis una cum distantia  $PT$ , datur vis mediocri  $LM$ ; & ea data, datur etiam vis  $MN$  quamproxime per analogiam linearum  $PT$ ,  $MN$ .

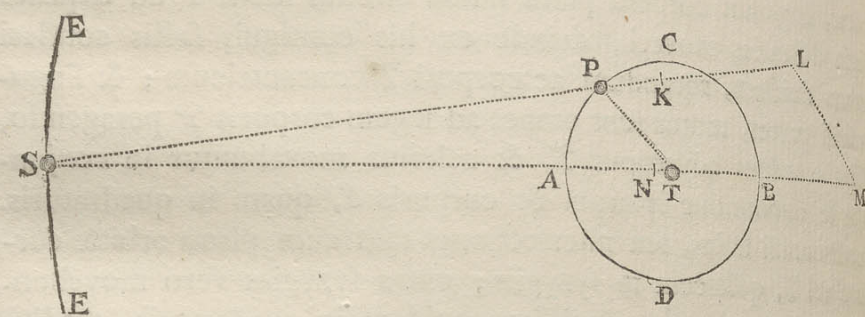
*Corol. 18.* Hisdem legibus, quibus corpus  $P$  circum corpus  $T$  revolvitur, fingamus corpora plura fluida circum idem  $T$  ad æquales ab ipso distantias moveri; deinde ex his contiguis factis conflari annulum fluidum, rotundum ac corpori  $T$  concentricum; & singulæ annuli partes, motus suos omnes ad legem corporis  $P$  peragendo, propius accedent ad corpus  $T$ , & celerius movebuntur in conjunctione & oppositione ipsarum & corporis  $S$ , quam in quadraturis. Et nodi annuli hujus, seu intersectiones ejus cum plano orbitæ corporis  $S$  vel  $T$ , quiescent in syzygiis; extra syzygias vero movebuntur in antecedentia, & velocissime quidem in quadraturis, tardius aliis in locis. Annuli quoque inclinatio variabitur, & axis ejus singulis revolutionibus oscillabitur, completaque revolutione ad pristinum situm redibit, nisi quatenus per præcessionem nodorum circumfertur.

*Corol. 19.* Fingas jam globum corporis  $T$ , ex materia non fluida constantem, ampliari & extendi usque ad hunc annulum, & alveo per circuitum excavato continere aquam, motuque eodem periodico circa axem suum uniformiter revolvitur. Hic liquor per vices acceleratus & retardatus (ut in superiore corollario) in syzygiis velocior erit, in quadraturis tardior quam superficies globi, & sic fluere in alveo resuetque ad modum maris. Aqua, revolvendo circa globi centrum quiescens, si tollatur attractio corporis  $S$ , nullum acquireret motum.



motum fluxus & refluxus. Par est ratio globi uniformiter progredientis in directum, & interea revolventis circa centrum suum (per legum corol. v.) ut & globi de cursu rectilineo uniformiter tracti, bili attractione mox turbabitur aqua. Etenim major erit attractio aquæ propioris, minor ea remotioris. Vis autem  $LM$  trahet aquam deorsum in quadraturis, facietque ipsam descendere usque ad syzygias; & vis  $KL$  trahet eandem sursum in syzygiis, sistetque descensum motus fluendi & refluendi ab alveo aquæ dirigatur, & per frictionem aliquatenus retardetur.

*Corol. 20.* Si annulus jam rigeat, & minuatur globus, cessabit motus fluendi & refluendi; sed oscillatorius ille inclinationis motus & præcessio nodorum manebunt. Habeat globus eundem axem cum annulo, gyroque compleat iisdem temporibus, & superficie sua contingat ipsum interius, eique inhæreat; & participando motum ejus,



compages utriusque oscillabitur, & nodi regredientur. Nam globus, ut mox dicetur, ad suscipiendas impressiones omnes indifferens est. Annuli globo orbat maxime inclinationis angulus est, ubi nodi sunt in syzygiis. Inde in progressu nodorum ad quadraturas conatur is inclinationem suam minuere, & isto conatu motum imprimit globo toti. Retinet globus motum impressum, usque dum annulus conatu contrario motum hunc tollat, imprimatque motum novum in contrariam partem: Atque hac ratione maximus decrescens inclinationis motus fit in quadraturis nodorum, & minimus inclinationis angulus in octantibus post quadraturas; dein maximus reclinatiois motus in syzygiis, & maximus angulus in octantibus proximis. Et eadem

eadem est ratio globi annulo nudati, qui in regionibus æquatoris vel altior est paulo quam juxta polos, vel constet ex materia paulo densiore. Supplet enim vicem annuli iste materiæ in æquatoris regionibus excessus. Et quanquam, aucta utcumque globi hujus vi centripeta, tendere supponantur omnes ejus partes deorsum, ad modum gravitantium partium telluris, tamen phænomena hujus & præcedentis corollarii vix inde mutabuntur; nisi quod loca maximarum & minimarum altitudinum aquæ diversa erunt. Aqua enim jam in orbe suo sustinetur & permanet, non per vim suam centrifugam, sed per alveum in quo fluit. Et præterea vis  $LM$  trahit aquam deorsum maxime in quadraturis, & vis  $KL$  seu  $NM$  —  $LM$  trahit eandem sursum maxime in syzygiis. Et hæ vires conjunctæ desinunt trahere aquam deorsum & incipiunt trahere aquam sursum in octantibus ante syzygias, ac desinunt trahere aquam sursum incipiuntque trahere aquam deorsum in octantibus post syzygias. Et inde maxima aquæ altitudo evenire potest in octantibus post syzygias, & minima in octantibus post quadraturas circiter; nisi quatenus motus ascendendi vel descendendi ab his viribus impressus vel per vim insitam aquæ paulo diutius perseveret, vel per impedimenta alvei paulo citius sistatur.

*Corol. 21.* Eadem ratione, qua materia globi juxta æquatorem redundans efficit ut nodi regrediantur, atque ideo per hujus incrementum augetur iste regressus, per diminutionem vero diminuitur, & per ablationem tollitur; si materia plusquam redundans tollatur, hoc est, si globus juxta æquatorem vel depressior reddatur, vel rarior quam juxta polos, orietur motus nodorum in consequentia.

*Corol. 22.* Et inde vicissim, ex motu nodorum innotescit constitutio globi. Nimirum si globus polos eosdem constanter servat, & motus fit in antecedentia, materia juxta æquatorem redundat; si in consequentia, deficit. Pone globum uniformem & perfecte circumscriptum in spatiis liberis primo quiescere; dein impetu quocunque oblique in superficiem suam facto propelli, & motum inde concipere partim circularem, partim in directum. Quoniam globus iste ad axes omnes per centrum suum transeuntes indifferenter se habet, neque propensior est in unum axem, unumve axis situm, quam in alium quemvis; perspicuum est, quod is axem suum, axisque inclinationem vi propria nunquam mutabit. Impellatur jam globus oblique,



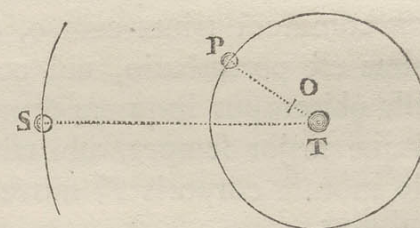
que, in eadem illa superficiei parte, qua prius, impulsu quocunque novo; & cum citior vel serior impulsus effectum nil mutet, manifestum est, quod hi duo impulsus successive impressi eundem producent motum, ac si simul impressi fuissent, hoc est, eundem, ac si globus vi simplici ex utroque (per legum corol. 2.) composita impulsus fuisset, atque ideo simplicem, circa axem inclinatione datum. Et par est ratio impulsus secundi facti in locum alium quemvis in æquatore motus primi; ut & impulsus primi facti in locum quemvis in æquatore motus, quem impulsus secundus sine primo generaret; atque ideo impulsuum amborum factorum in loca quæcunque: generabunt hi eundem motum circulem ac si simul & semel in locum intersectionis æquatorum motuum illorum, quos seorsim generarent, fuissent impressi. Globus igitur homogeneus & perfectus non retinet motus plures distinctos, sed impressos omnes componit & ad unum reducit, & quatenus in se est, gyatur semper motu simplici & uniformi circa axem unicum, inclinatione semper invariabili datum. Sed nec vis centripeta inclinationem axis, aut rotationis velocitatem mutare potest. Si globus plano quocunque, per centrum suum & centrum in quod vis dirigitur transeunte, dividi intelligatur in duo hemisphæria; urgebit semper vis illa utrumque hemisphærium æqualiter, & propterea globum, quoad motum rotationis, nullam in partem inclinabit. Addatur vero alicubi inter polum & æquatorem materia nova in formam montis cumulata, & hæc, perpetuo conatu recedendi a centro sui motus, turbabit motum globi, facietque ut poli ejus errent per ipsius superficiem, & circulos circum se punctumque sibi oppositum perpetuo deseribant. Neque corrigetur ista vagationis enormitas, nisi locando montem illum vel in polo alterutro, quo in casu (per corol. xxi.) nodi æquatoris progredientur; vel in æquatore, qua ratione (per corol. xx.) nodi regredientur; vel denique ex altera axis parte addendo materiam novam, qua mons inter movendum libretur, & hoc pacto nodi vel progredientur, vel recedent, perinde ut mons & hæcce nova materia sunt vel polo vel æquatori propiores.

PROPO.

## PROPOSITIO LXVII. THEOREMA XXVII.

*Positis iisdem attractionum legibus, dico quod corpus exterius S, circa interiorum P, T commune gravitatis centrum O, radiis ad centrum illud ductis, describit areas temporibus magis proportionales, & orbem ad formam ellipseos umbilicalem in centro eodem habentis magis accedentem, quam circa corpus intimum & maximum T, radiis ad ipsum ductis, describere potest.*

Nam corporis S attractiones versus T & P componunt ipsius attractionem absolutam, quæ magis dirigitur in corporum T & P commune gravitatis centrum O, quam in corpus maximum T, quæque quadrato distantie SO magis est proportionalis reciproce, quam quadrato distantie ST: ut rem perpendenti facile constabit.



## PROPOSITIO LXVIII. THEOREMA XXVIII.

*Positis iisdem attractionum legibus, dico quod corpus exterius S, circa interiorum P & T commune gravitatis centrum O, radiis ad centrum illud ductis, describit areas temporibus magis proportionales, & orbem ad formam ellipseos umbilicalem in centro eodem habentis magis accedentem, si corpus intimum & maximum his attractionibus perinde atque cetera agitur, quam si id vel non attractum quiescat, vel multo magis aut multo minus attractum aut multo magis aut multo minus agitur.*

Demonstratur eodem fere modo cum prop. LXVI. sed argumento prolixiore, quod ideo prætereo. Sufficeret rem sic æstimare. Ex demonstratione propositionis novissimæ liquet centrum, in quod

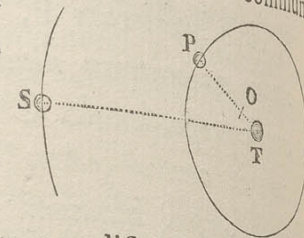
B b

corpus



DE MOTU  
CORPORUM

corpus  $S$  conjunctis viribus urgetur, proximum esse communi centro gravitatis duorum illorum. Si coincideret hoc centrum cum corporum trium; describerent corpus  $S$  ex una parte, & commune centrum aliorum duorum ex altera parte, circa commune omnium centrum quiescens, ellipses accuratas. Liqueat hoc per corollarium secundum propositionis LVIII. collatum cum demonstratis in prop. LXIV. & LXV. Perturbatur iste motus ellipticus aliquantulum per distantiam centri duorum a centro, in quod tertium  $S$  attrahitur. Detur præterea motus communi trium centro, & augebitur perturbatio. Proinde minima est perturbatio, ubi commune trium centrum quiescit; hoc est, ubi corpus intimum & maximum  $T$  lege cæterorum attrahitur; fitque major semper, ubi trium commune illud centrum, minuendo motum corporis  $T$ , moveri incipit, & magis deinceps magisque agitur.



*Corol.* Et hinc, si corpora plura minora revolvantur circa maximum, colligere licet quod orbitæ descriptæ propius accedent ad ellipticas, & arearum descriptiones fient magis æquabiles, si corpora omnia viribus acceleratricibus, quæ sunt ut eorum vires absolutæ directe & quadrata distantiarum inverse, se mutuo trahant agitent. que, & orbitæ cujusque umbilicus collocetur in communi centro gravitatis corporum omnium interiorum (nimirum umbilicus orbitæ primæ & intimæ in centro gravitatis corporis maximi & intimi; ille orbitæ secundæ, in communi centro gravitatis corporum duorum intimorum; iste tertiæ, in communi centro gravitatis trium interiorum; & sic deinceps) quam si corpus intimum quiescat & statuatur communis umbilicus orbitarum omnium.

## PROPOSITIO LXIX. THEOREMA XXIX.

*In systemate corporum plurium A, B, C, D, &c. si corpus aliquod A trahit cætera omnia B, C, D, &c. viribus acceleratricibus quæ sunt reciproce ut quadrata distantiarum a tra-*

LIBER  
PRIMUS.

*a trahente; & corpus aliud B trahit etiam cætera A, C, D, &c. viribus quæ sunt reciproce ut quadrata distantiarum a trahente: erunt absolute corporum trahentium A, B vires ad invicem, ut sunt ipsa corpora A, B, quorum sunt vires.*

Nam attractiones acceleratrices corporum omnium  $B, C, D$  versus  $A$ , paribus distantis, sibi invicem æquantur ex hypothesi; & similiter attractiones acceleratrices corporum omnium versus  $B$ , paribus distantis, sibi invicem æquantur. Est autem absoluta vis attractiva corporis  $A$  ad vim absolutam attractivam corporis  $B$ , ut attractio acceleratrix corporum omnium versus  $A$  ad attractionem acceleratricem corporum omnium versus  $B$ , paribus distantis; & ita est attractio acceleratrix corporis  $B$  versus  $A$ , ad attractionem acceleratricem corporis  $A$  versus  $B$ . Sed attractio acceleratrix corporis  $B$  versus  $A$  est ad attractionem acceleratricem corporis  $A$  versus  $B$ , ut massa corporis  $A$  ad massam corporis  $B$ ; propterea quod vires motrices, quæ (per definitionem secundam, septimam & octavam) sunt ut vires acceleratrices & corpora attracta conjunctim, hic sunt (per motus legem tertiam) sibi invicem æquales. Ergo absoluta vis attractiva corporis  $A$  est ad absolutam vim attractivam corporis  $B$ , ut massa corporis  $A$  ad massam corporis  $B$ . *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc si singula systematis corpora  $A, B, C, D$ , &c. seorsim spectata trahant cætera omnia viribus acceleratricibus, quæ sunt reciproce ut quadrata distantiarum a trahente; erunt corporum illorum omnium vires absolutæ ad invicem ut sunt ipsa corpora.

*Corol. 2.* Eodem argumento, si singula systematis corpora  $A, B, C, D$ , &c. seorsim spectata trahant cætera omnia viribus acceleratricibus, quæ sunt vel reciproce, vel directe in ratione dignitatis cujusunque distantiarum a trahente, quæve secundum legem quamcunque communem ex distantis ab unoquoque trahente definiuntur; constat quod corporum illorum vires absolutæ sunt ut corpora.

*Corol. 3.* In systemate corporum, quorum vires decrescunt in ratione duplicata distantiarum, si minora circa maximum in ellipsis, umbilicum communem in maximi illius centro habentibus, quam fieri potest accuratissimis revolvantur; & radiis ad maximum illud

B b 2

ductis



ductis describant areas temporibus quam maxime proportionales: erunt corporum illorum vires absolutæ ad invicem, aut accurate aut quamproxime, in ratione corporum; & contra. Patet per corol. prop. LXVIII. collatum cum hujus corol. I.

*Scholium.*

His propositionibus manuducimur ad analogiam inter vires centripetas, & corpora centralia, ad quæ vires illæ dirigi solent. Rationi enim consentaneum est, ut vires, quæ ad corpora diriguntur, pendeant ab eorundem natura & quantitate, ut fit in magneticis. Et quoties hujusmodi casus incidunt, æstimandæ erunt corporum attractiones, assignando singulis eorum particulis vires proprias, & colligendo summas virium. Vocem attractionis hic generaliter usurpo pro corporum conatu quocunque accedendi ad invicem: sive conatus iste fiat ab actione corporum, vel se mutuo petentium, vel per spiritus emissos se invicem agitantium; sive is ab actione ætheris, aut æris, mediæ cujuscunque seu corporei seu incorporei oriatur corpora innatantia in se invicem utcunque impellentis. Eodem sensu generali usurpo vocem impulsus, non species virium, & qualitates physicas, sed quantitates & proportionales mathematicas in hoc tractatu expendens, ut in definitionibus explicui. In mathesi investigandæ sunt virium quantitates & rationes illæ, quæ ex conditionibus quibuscunque positæ consequuntur: deinde, ubi in physicam descenditur, conferendæ sunt hæ rationes cum phenomenis; ut innotescat quænam virium conditiones singulis corporum attractivorum generibus competant. Et tum demum de virium speciebus, causis & rationibus physicis tutius disputare licebit. Videamus igitur quibus viribus corpora sphærica, ex particulis modo jam exposito attractivis constantia, debeant in se mutuo agere; & quales motus inde consequantur.

## SECTION

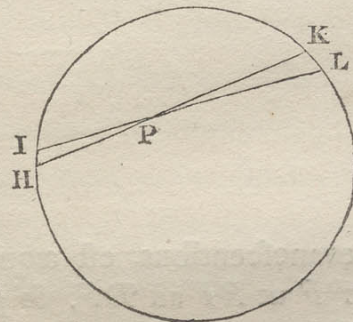
## SECTIO XII.

*De corporum sphericorum viribus attractivis.*

## PROPOSITIO LXX. THEOREMA XXX.

*Si ad sphericæ superficiei puncta singula tendant vires æquales centripetæ decrescentes in duplicata ratione distantiarum a punctis: dico quod corpusculum intra superficiem constitutum his viribus nullam in partem attrahitur.*

Sit  $HIKL$  superficies illa sphærica, &  $P$  corpusculum intus constitutum. Per  $P$  agantur ad hanc superficiem lineæ duæ  $HK, IL$ , arcus quam minimos  $HI, KL$  intercipientes; & ob triangu-  
la  $HPI, LPK$  (per corol. 3. lem. VII.) similia, arcus illi erunt distantis  $HP, LP$  proportionales; & superficiei sphæricæ particulae quavis ad  $HI$  &  $KL$ , rectis per punctum  $P$  transeuntibus undique terminatæ, erunt in duplicata illa ratione. Ergo vires harum particularum in corpus  $P$  exercitæ sunt inter se æquales. Sunt enim ut particulae directæ, & quadrata distantiarum inverse. Et hæ duæ rationes componunt rationem æqualitatis. Attractiones igitur, in contrarias partes æqualiter factæ, se mutuo destrunt. Et simili argumento, attractiones omnes per totam sphæricam superficiem a contrariis attractionibus destruntur. Proinde corpus  $P$  nullam in partem his attractionibus impellitur. *Q. E. D.*



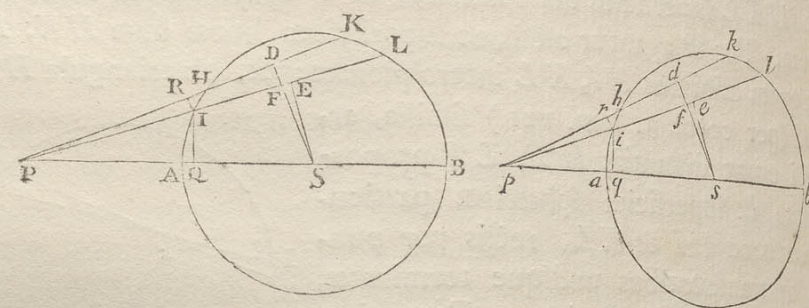
## PROPOSITIO LXXI. THEOREMA XXXI.

*Isdem positis, dico quod corpusculum extra sphericam superficiem constitutum attrahitur ad centrum sphære, vi reciproce*



*proce proportionali quadrato distantiae suae ab eodem centro.*

Sint  $AHKB$ ,  $abkb$  æquales duæ superficies sphaericae, centris  $S$ ,  $s$ , diametris  $AB$ ,  $ab$  descriptæ, &  $P$ ,  $p$  corpuscula sita extrinsecus in diametris illis productis. Agantur a corpusculis lineæ  $PHK$ ,  $PI L$ ,  $p b k$ ,  $p i l$ , auferentes a circulis maximis  $AHB$ ,  $abb$ , æquales arcus  $HK$ ,  $bk$  &  $IL$ ,  $il$ . Et ad eas demittantur perpendiculara  $SD$ ,  $sd$ ;  $SE$ ,  $se$ ;  $IR$ ,  $ir$ ; quorum  $SD$ ,  $sd$  secant  $PL$ ,  $pl$  in  $F$  &  $f$ : Demittantur etiam ad diametros perpendiculara  $IQ$ ,  $iq$ . Evanescent anguli  $DPE$ ,  $dpe$ : & ob æquales  $DS$  &  $ds$ ,  $ES$  &  $es$ , lineæ  $PE$ ,  $PF$  &  $pe$ ,  $pf$  & lineola  $DF$ ,  $df$  pro æqualibus habentur; quippe quarum ratio ultima, angulis illis  $DPE$ ,  $dpe$  simul



evanescentibus, est æqualitatis. His itaque constitutis, erit  $PI$  ad  $PF$  ut  $RI$  ad  $DF$ , &  $pf$  ad  $pi$  ut  $df$  vel  $DF$  ad  $ri$ ; & ex æquo  $PI \times pf$  ad  $PF \times pi$  ut  $RI$  ad  $ri$ , hoc est (per corol. 3. lem. VII.) ut arcus  $IH$  ad arcum  $ib$ . Rursus  $PI$  ad  $PS$  ut  $IQ$  ad  $SE$ , &  $ps$  ad  $pi$  ut  $se$  vel  $SE$  ad  $iq$ ; & ex æquo  $PI \times ps$  ad  $PS \times pi$  ut  $IQ$  ad  $iq$ . Et conjunctis rationibus  $PI quad. \times pf \times ps$  ad  $pi quad. \times PF \times PS$ , ut  $IH \times IQ$  ad  $ib \times iq$ ; hoc est, ut superficies circularis, quam arcus  $IH$  convolutione semicirculi  $AKB$  circa diametrum  $AB$  describet, ad superficiem circulearem, quam arcus  $ib$  convolutione semicirculi  $abk$  circa diametrum  $ab$  describet. Et vires, quibus hæ superficies secundum lineas ad se tendentes attrahunt corpuscula  $P$  &  $p$ , sunt (per hypothesin) ut ipsæ superficies directe, & quadrata distantiarum superficierum a corporibus inverse, hoc est, ut  $pf \times ps$  ad  $PF \times PS$ . Suntque hæ vires ad ipsarum partes obli-

quas,

quas, quæ (facta per legem corol. 2. resolutione virium) secundum lineas  $PS$ ,  $ps$  ad centra tendunt, ut  $PI$  ad  $PQ$ , &  $pi$  ad  $pq$ ; id est (ob similia triangula  $PIQ$  &  $PSF$ ,  $piq$  &  $psf$ ) ut  $PS$  ad  $PF$  &  $ps$  ad  $pf$ . Unde, ex æquo, fit attractio corpusculi hujus  $P$  versus  $S$  ad attractionem corpusculi  $p$  versus  $s$ , ut  $\frac{PF \times pf \times ps}{PS}$  ad

$\frac{p \times PF \times PS}{ps}$ , hoc est, ut  $ps$  quad. ad  $PS$  quad. Et simili argumento vires, quibus superficies convolutione arcuum  $KL$ ,  $kl$  descriptæ trahunt corpuscula, erunt ut  $ps$  quad. ad  $PS$  quad. inque eadem ratione erunt vires superficierum omnium circularium in quas utraque superficies sphaerica, capiendò semper  $sd$  æqualem  $SD$  &  $se$  æqualem  $SE$ , distingui potest. Et, per compositionem, vires totarum superficierum sphaerarum in corpuscula exercitæ erunt in eadem ratione. Q. E. D.

## PROPOSITIO LXXII. THEOREMA XXXII.

*Si ad sphaeræ cujusvis puncta singula tendant vires æquales centripetæ decrescentes in duplicata ratione distantiarum a punctis; ac detur tum sphaeræ densitas, tum ratio diametri sphaeræ ad distantiam corpusculi a centro ejus: dico quod vis, qua corpusculum attrahitur, proportionalis erit semidiametro sphaeræ.*

Nam concipe corpuscula duo seorsim a sphaeris duabus attrahi, unum ab una & alterum ab altera, & distantias eorum a sphaerarum centris proportionales esse diametris sphaerarum respective, sphaeras autem resolvi in particulas similes & similiter positas ad corpuscula. Et attractiones corpusculi unius, factæ versus singulas particulas sphaeræ unius, erunt ad attractiones alterius versus analogas totidem particulas sphaeræ alterius, in ratione composita ex ratione particularum directe & ratione duplicata distantiarum inverse. Sed particulae sunt ut sphaeræ, hoc est, in ratione triplicata diametrorum, & distantiae sunt ut diametri; & ratio prior directe una cum ratione posteriore bis inverse est ratio diametri ad diametrum. Q. E. D.

Corol.



*Corol. 1.* Hinc si corpuscula in circulis, circa sphaeras ex materia æqualiter attractiva constantes, revolvantur; sintque distantiae a centris sphaerarum proportionales earundem diametris: Tempora periodica erunt æqualia.

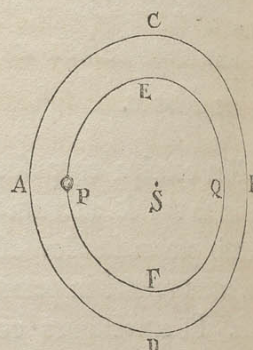
*Corol. 2.* Et vice versa, si tempora periodica sunt æqualia; distantiae erunt proportionales diametris. Constant hæc duo per corol. 3. prop. IV.

*Corol. 3.* Si ad solidorum duorum quorumvis, similium & æqualiter densorum, puncta singula tendant vires æquales centripetæ, decrescentes in duplicata ratione distantiarum a punctis; vires, quibus corpuscula, ad solida illa duo similiter sita, attrahentur ab illis, dem, erunt ad invicem ut diametri solidorum.

PROPOSITIO LXXIII. THEOREMA XXXIII.

*Si ad sphaeræ alicujus datæ puncta singula tendant æquales vires centripetæ decrescentes in duplicata ratione distantiarum a punctis: dico quod corpusculum intra sphaeram constitutum attrahitur vi proportionali distantiae suæ ab ipsius centro.*

In sphaera *ABCD*, centro *S* descripta, locetur corpusculum *P*; & centro eodem *S*, intervallo *SP*, concipe sphaeram interiorem *PEQF* describi. Manifestum est, (per prop. LXX.) quod sphaericæ superficies concentricæ, ex quibus sphaerarum differentia *AEBF* componitur, attractionibus suis per attractiones contrarias destructis, nil agunt in corpus *P*. Restat sola attractio sphaeræ interioris *PEQF*. Et (per prop. LXXII.) hæc est ut distantia *PS*. Q. E. D.



Scholium.

Superficies, ex quibus solida componuntur, hic non sunt pure mathematicæ, sed orbes adeo tenues, ut eorum crassitudo instar nihili

nihili sit; nimirum orbes evanescentes, ex quibus sphaera ultimo constat, ubi orbium illorum numerus augetur & crassitudo minuitur in infinitum. Similiter per puncta, ex quibus lineæ, superficies, & solida componi dicuntur, intelligendæ sunt particulae æquales magnitudinis contemnendæ.

PROPOSITIO LXXIV. THEOREMA XXXIV.

*Isdem positis, dico quod corpusculum extra sphaeram constitutum attrahitur vi reciproce proportionali quadrato distantiae suæ ab ipsius centro.*

Nam distinguatur sphaera in superficies sphaericas innumeras concentricas, & attractiones corpusculi a singulis superficiebus oriundæ erunt reciproce proportionales quadrato distantiae corpusculi a centro (per prop. LXXI.) Et componendo fiet summa attractionum, hoc est attractio corpusculi in sphaeram totam, in eadem ratione. Q. E. D.

*Corol. 1.* Hinc in æqualibus distantis a centris homogenearum sphaerarum attractiones sunt ut sphaeræ. Nam (per prop. LXXII.) si distantiae sunt proportionales diametris sphaerarum, vires erunt ut diametri. Minuatur distantia major in illa ratione; &, distantis jam factis æqualibus, augebitur attractio in duplicata illa ratione; ideoque erit ad attractionem alteram in triplicata illa ratione, hoc est, in ratione sphaerarum.

*Corol. 2.* In distantis quibusvis attractiones sunt ut sphaeræ applicatæ ad quadrata distantiarum.

*Corol. 3.* Si corpusculum, extra sphaeram homogeneam positum, trahitur vi reciproce proportionali quadrato distantiae suæ ab ipsius centro, constet autem sphaera ex particulis attractivis; decrescet vis particulæ cujusque in duplicata ratione distantiae a particula.

PROPOSITIO LXXV. THEOREMA XXXV.

*Si ad sphaeræ datæ puncta singula tendant vires æquales centripetæ, decrescentes in duplicata ratione distantiarum a punctis;*

C c

punctis;



punctis; dico quod sphaera quævis alia similis ab eadem attrahitur vi reciproce proportionali quadrato distantie centrorum.

Nam particulæ cujuscvis attractio est reciproce ut quadratum distantie suæ a centro sphaeræ trahentis, (per prop. LXXIV.) & propterea eadem est, ac si vis tota attrahens manaret de corpufculo unico fito in centro hujus sphaeræ. Hæc autem attractio tanta est, quanta foret vicissim attractio corpufculi ejusdem, si modo illud a singulis sphaeræ attractæ particulis eadem vi traheretur, qua ipsas attrahit. Foret autem illa corpufculi attractio (per prop. LXXIV.) reciproce proportionalis quadrato distantie suæ a centro sphaeræ; ideoque huic æqualis attractio sphaeræ est in eadem ratione. Q. E. D.

Corol. 1. Attractiones sphaerarum, versus alias sphaeras homogeneas, sunt ut sphaeræ trahentes applicatæ ad quadrata distantiarum centrorum suorum a centris earum, quas attrahunt.

Corol. 2. Idem valet, ubi sphaera attracta etiam attrahit. Namque hujus puncta singula trahent singula alterius eadem vi, qua ab ipsis vicissim trahuntur; ideoque cum in omni attractione urgeatur (per legem 3.) tam punctum attrahens, quam punctum attractum, geminabitur vis attractionis mutuae, conservatis proportionibus.

Corol. 3. Eadem omnia, quæ superius de motu corporum circa umbilicum conicarum sectionum demonstrata sunt, obtinent, ubi sphaera attrahens locatur in umbilico, & corpora moventur extra sphaeram.

Corol. 4. Ea vero, quæ de motu corporum circa centrum conicarum sectionum demonstrantur, obtinent ubi motus peraguntur intra sphaeram.

## PROPOSITIO LXXVI. THEOREMA XXXVI.

Si sphaera in progressu a centro ad circumferentiam (quoad materiae densitatem & vim attractivam) utunque dissimilares, in progressu vero per circuitum ad datam omnem a centro distantiam sunt undique similes; & vis attractiva puncti cujusque decrescit in duplicata ratione distantie corporis

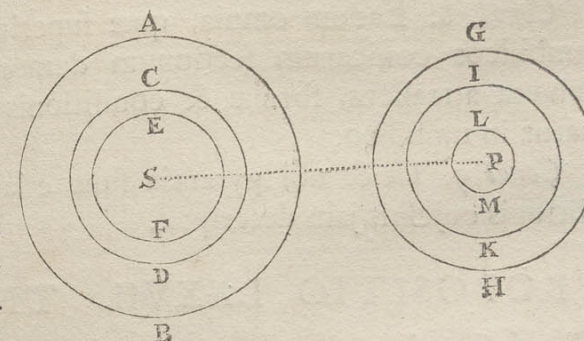
poris attracti: dico quod vis tota, qua hujusmodi sphaera una attrahit aliam, sit reciproce proportionalis quadrato distantie centrorum.

Sunto sphaeræ quocunque concentricæ similes  $AB$ ,  $CD$ ,  $EF$ , &c. quarum interiores additæ exterioribus componant materiam densiorem versus centrum, vel subductæ relinquant tenuiorem; & hæc (per prop. LXXV.) trahent sphaeras alias quocunque concentricas similes  $GH$ ,  $IK$ ,  $LM$ , &c. singulæ singulas, viribus reciproce proportionalibus quadrato distantie  $SP$ . Et componendo vel dividendo, summa virium illarum omnium, vel excessus aliquarum super alias; hoc est, vis, qua sphaera tota, ex concentricis quibuscunque vel concentricarum differentis composita  $AB$ , trahit totam ex concentricis quibuscunque vel concentricarum differentis compositam  $GH$ ; erit in eadem ratione. Augeatur numerus sphaerarum concentricarum in infinitum sic, ut materiae densitas una cum vi attractiva, in progressu a circumferentia ad centrum, secundum legem quamcunque crescat vel decrescat; & addita materia non attractiva, compleatur ubivis densitas deficiens, eo ut sphaeræ acquirant formam quamvis optatam; & vis, qua harum una attrahet alteram, erit etiamnum, per argumentum superius, in eadem illa distantie quadratæ ratione inversa. Q. E. D.

Corol. 1. Hinc si ejusmodi sphaeræ complures, sibi invicem per omnia similes, se mutuo trahant; attractiones acceleratrices singularum in singulas erunt, in æqualibus quibuscunque centrorum distantis, ut sphaeræ attrahentes.

Corol. 2. Inque distantis quibuscunque inæqualibus, ut sphaeræ attrahentes applicatæ ad quadrata distantiarum inter centra.

Corol. 3. Attractiones vero motrices, seu pondera sphaerarum in sphaeras erunt, in æqualibus centrorum distantis, ut sphaeræ attrahentes





hentes & attractæ conjunctim, id est, ut contenta sub sphaeris per multiplicationem producta.

*Corol. 4.* Inque distantis inæqualibus, ut contenta illa directe & quadrata distantiarum inter centra inverse.

*Corol. 5.* Eadem valent, ubi attractio oritur a sphaeræ utriusque virtute attractiva mutuo exercita in sphaeram alteram. Nam viribus ambabus geminatur attractio, proportionem servata.

*Corol. 6.* Si hujusmodi sphaeræ aliquæ circa alias quiescentes revolvantur, singulæ circa singulas; sintque distantiae inter centra revolvantium & quiescentium proportionales quiescentium diametris, æqualia erunt tempora periodica.

*Corol. 7.* Et vicissim, si tempora periodica sunt æqualia; distantiae erunt proportionales diametris.

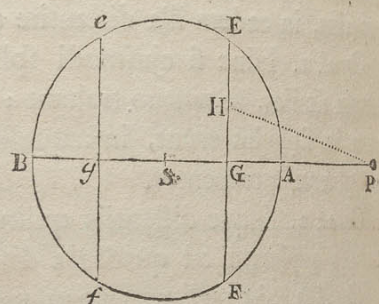
*Corol. 8.* Eadem omnia, quæ superius de motu corporum circa umbilicos conicarum sectionum demonstrata sunt, obtinent; ubi sphaera attrahens, formæ & conditionis cujusvis jam descriptæ, locatur in umbilico.

*Corol. 9.* Ut & ubi gyrationia sunt etiam sphaeræ attrahentes, conditionis cujusvis jam descriptæ.

PROPOSITIO LXXVII. THEOREMA XXXVII.

*Si ad singula sphaerarum puncta tendant vires centripetae proportionales distantis punctorum a corporibus attractis: dico quod vis composita, qua sphaeræ duæ se mutuo trahent, est ut distantia inter centra sphaerarum.*

*Cas. 1.* Sit  $AEBF$  sphaera;  $S$  centrum ejus;  $P$  corpusculum attractum,  $PASB$  axis sphaeræ per centrum corpusculi transiens;  $EF$ ,  $ef$  plana duo, quibus sphaera secatur, huic axi perpendicularia, & hinc inde æqualiter distantia a centro sphaeræ;  $G, g$  intersectiones planorum & axis; &  $H$  punctum quodvis in plano  $EF$ . Puncti  $H$  vis centripeta in corpusculum  $P$ , secundum lineam  $PH$  exercita, est



est ut distantia  $PH$ ; & (per legem corol. 2.) secundum lineam  $PG$ , seu versus centrum  $S$ , ut longitudo  $PG$ . Igitur punctorum omnium in plano  $EF$ , hoc est plani totius vis, qua corpusculum  $P$  trahitur versus centrum  $S$ , est ut distantia  $PG$  multiplicata per numerum punctorum, id est, ut solidum quod continetur sub plano ipso  $P$  trahitur versus centrum  $S$ , est ut planum illud ductum in distantiam suam  $PG$ , sive ut huic æquale planum  $EF$  ductum in distantiam illam  $PG$ ; & similiter vis plani  $ef$ , qua corpusculum  $P$  trahitur versus centrum  $S$ , est ut planum illud ductum in distantiam suam  $PG$ ; & summa virium plani utriusque ut planum  $EF$  ductum in summam distantiarum  $PG + pg$ , id est, ut planum illud ductum in duplam centri & corpusculi distantiam  $PS$ , hoc est, ut duplum planum  $EF$  ductum in distantiam  $PS$ , vel ut summa æqualium planorum  $EF + ef$  ducta in distantiam eandem. Et simili argumento, vires omnium planorum in sphaera tota, hinc inde æqualiter a centro sphaeræ distantium, sunt ut summa planorum ducta in distantiam  $PS$ , hoc est, ut sphaera tota & ut distantia  $PS$  conjunctim. *Q. E. D.*

*Cas. 2.* Trahat jam corpusculum  $P$  sphaeram  $AEBF$ . Et eodem argumento probabitur quod vis, qua sphaera illa trahitur, erit ut distantia  $PS$ . *Q. E. D.*

*Cas. 3.* Componatur jam sphaera altera ex corpusculis innumeris  $P$ ; & quoniam vis, qua corpusculum unumquodque trahitur, est ut distantia corpusculi a centro sphaeræ primæ & ut sphaera eadem conjunctim, atque ideo eadem est, ac si prodiret tota de corpusculo unico in centro sphaeræ; vis tota, qua corpuscula omnia in sphaera secunda trahuntur, hoc est, qua sphaera illa tota trahitur, eadem erit, ac si sphaera illa traheretur vi prodeunte de corpusculo unico in centro sphaeræ primæ, & propterea proportionalis est distantiae inter centra sphaerarum. *Q. E. D.*

*Cas. 4.* Trahant sphaeræ se mutuo, & vis geminata proportionem priorem servabit. *Q. E. D.*

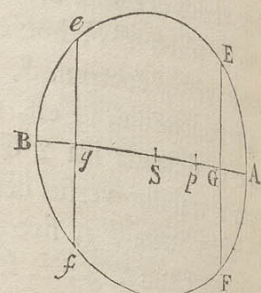
*Cas. 5.* Locetur jam corpusculum  $p$  intra sphaeram  $AEBF$ ; & quoniam vis plani  $ef$  in corpusculum est ut solidum contentum sub plano illo & distantia  $pg$ ; & vis contraria plani  $EF$  ut solidum contentum sub plano illo & distantia  $pG$ ; erit vis ex utraque composita ut differentia solidorum, hoc est, ut summa æqualium planorum ducta in semissem differentiae distantiarum, id est,

ut:



DE MOTU ut summa illa ducta in  $pS$  distantiam corpusculi a centro sphaerae. Et simili argumento, attractio planorum omnium  $EF$ ,  $ef$  in sphaera tota, hoc est, attractio sphaerae totius, est conjunctim ut summa planorum omnium, seu sphaera tota, & ut  $pS$  distantia corpusculi a centro sphaerae. Q. E. D.

Cas. 6. Et si ex corpusculis innumeris  $p$  componatur sphaera nova, intra sphaeram priorem  $AEBF$  sita; probabitur ut prius quod attractio, sive simplex sphaerae unius in alteram, sive mutua utriusque in se invicem, erit ut distantia centrorum  $pS$ . Q. E. D.



## PROPOSITIO LXXVIII. THEOREMA XXXVIII.

Si sphaerae in progressu a centro ad circumferentiam sint utrumque dissimiles & inaequales in progressu vero per circuitum ad datam omnem a centro distantiam sint undique similes; & vis attractiva puncti cujusque sit ut distantia corporis attracti: dico quod vis tota qua hujusmodi sphaerae duae se mutuo trahunt sit proportionalis distantiae inter centra sphaerarum.

Demonstratur ex propositione praecedente eodem modo, quo propositio LXXVI. ex propositione LXXV. demonstrata fuit.

Corol. Quae superius in propositionibus x. & LXIV. de motu corporum circa centra conicarum sectionum demonstrata sunt, valent ubi attractiones omnes fiunt vi corporum sphaericorum conditionis jam descriptae, & attracta corpora sunt sphaerae conditionis ejusdem.

## Scholium.

Attractionum casus duos insigniores jam dedi expositos; nimirum ubi vires centripetae decrescunt in duplicata distantiarum ratione, vel crescunt in distantiarum ratione simplici; efficientes in utroque casu ut corpora gyrentur in conicis sectionibus, & componentes corporum sphaericorum vires centripetas eadem lege, in

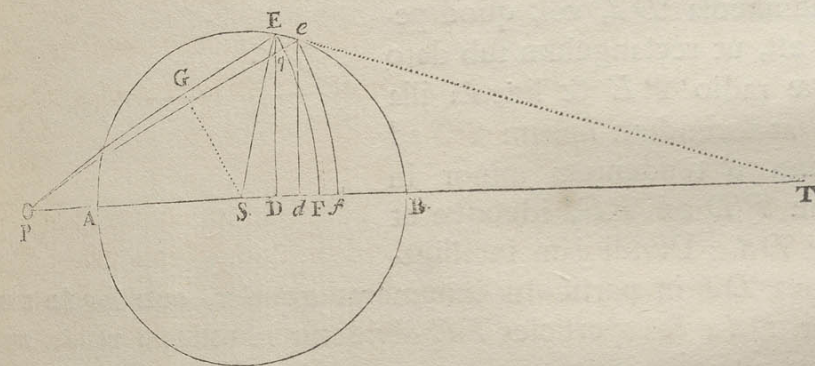
revertitur

LIBER PRIMUS.  
recessu a centro, decrescentes vel crescentes cum seipsis: Quod est notatu dignum. Casus caeteros, qui conclusiones minus elegantes exhibent, sigillatim percurrere longum esset. Malim cunctos methodo generali simul comprehendere ac determinare, ut sequitur.

## LEMMA XXIX.

Si describantur centro  $S$  circuli quilibet  $AEB$ , & centro  $P$  circuli duo  $EF$ ,  $ef$ , secantes priorem in  $E$ ,  $e$ , lineamque  $PS$  in  $F$ ,  $f$ ; & ad  $PS$  demittantur perpendiculara  $ED$ ,  $ed$ : dico quod, si distantia arcuum  $EF$ ,  $ef$  in infinitum minui intelligatur, ratio ultima lineae evanescentis  $Dd$  ad lineam evanescentem  $Ff$  ea sit, quae lineae  $PE$  ad lineam  $PS$ .

Nam si linea  $Pe$  secet arcum  $EF$  in  $q$ ; & recta  $Ee$ , quae cum arcu evanescente  $Ee$  coincidit, producta occurrat rectae  $PS$  in  $T$ ; & ab  $S$  demittatur in  $PE$  normalis  $SG$ : ob similia triangula  $DTE$ ,  $dTe$ ,  $DES$ ; erit  $Dd$  ad  $Ee$ , ut  $DT$  ad  $TE$ , seu  $DE$  ad  $ES$ ;



& ob triangula  $Eeg$ ,  $ESG$  (per lem. VIII. & corol 3. lem. VII.) similia, erit  $Ee$  ad  $eq$  seu  $Ff$  ut  $ES$  ad  $SG$ ; & ex aequo,  $Dd$  ad  $Ff$  ut  $DE$  ad  $SG$ ; hoc est (ob similia triangula  $PDE$ ,  $PGS$ ) ut  $PE$  ad  $PS$ . Q. E. D.

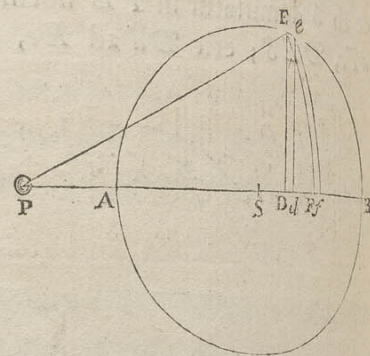
PROPO.



PROPOSITIO LXXIX. THEOREMA XXXIX.  
*Si superficies ob latitudinem infinita sit*

Si superficies ob latitudinem infinite diminutam jamjam evanescentem  $EFfe$ , convolutione sui circa axem  $PS$ , describat solidum sphaericum concavo-convexum, ad cujus particulas singulas aequales tendant aequales vires centripetae: dico quod vis, qua solidum illud trahit corpusculum situm in  $P$ , est in ratione composita ex ratione solidi  $DEq \times Ff$ , & ratione vis qua particula data in loco  $Ff$  traheret idem corpusculum.

Nam si primo consideremus vim superficiiei sphaericæ  $FE$ , quæ convolutione arcus  $FE$  generatur, & a linea  $de$  ubivis secatur in  $r$ ; erit superficiiei pars annularis, convolutione arcus  $rE$  genita, ut lineola  $Dd$ , manente sphaeræ radio  $PE$  (uti demonstravit Archimedes in lib. de *Sphæra* & *Cylindro*.) Et hujus vis, secundum lineas  $PE$  vel  $Pr$  undique in superficiiei conica sitas exercita, ut hæc ipsa superficiiei pars annularis; hoc est, ut lineola  $Dd$ , vel, quod perinde est, ut rectangulum sub dato sphaeræ radio  $PE$  & lineola illa  $Dd$ : at secundum lineam  $PS$  ad centrum  $S$  tendentem minor in ratione  $PD$  ad  $PE$ , ideoque ut  $PD \times Dd$ . Dividi jam intelligatur linea  $DF$  in particulas innumeras æquales, quæ singulæ nominentur  $Dd$ ; & superficies  $FE$  dividetur in totidem æquales annulos, quorum vires erunt ut summa omnium  $PD \times Dd$ , hoc est, ut  $\frac{1}{2} PFq - \frac{1}{2} PDq$ , ideoque ut  $DE$  quad. Ducatur jam superficies  $FE$  in altitudinem  $Ff$ ; & fiet solidi  $EFfe$  vis exercita in corpusculum  $P$  ut  $DEq \times Ff$ : puta si detur vis quam particula aliqua data  $Ff$  in distantia  $PF$  exercet in corpusculum  $P$ . At si vis illa non detur, fiet vis solidi  $EFfe$  ut solidum  $DEq \times Ff$  & vis illa non data conjunctim. Q. E. D.

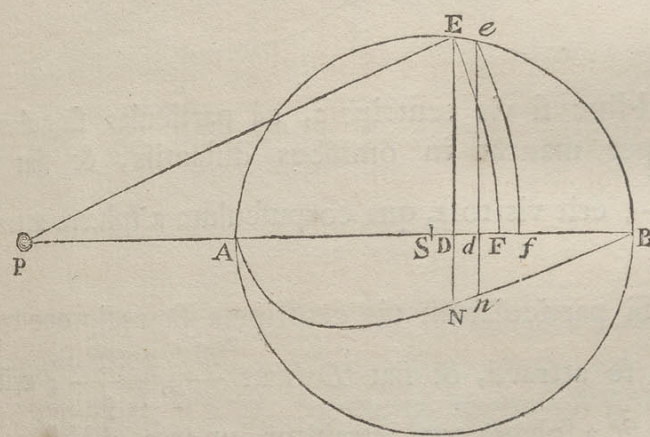


PROPO.

PROPOSITIO LXXX. THEOREMA XL.

PROPOSITIO III.  
Si ad Sphæræ alicujus ABE, centro S descriptæ, particulas singulas æquales tendant æquales vires centripetæ, & ad Sphæræ axem AB, in quo corpusculum aliquod P locatur, erigantur de punctis singulis D perpendiculara DE, Sphæræ occurrentia in E, & in ipsis capiantur longitudines DN, quæ sint ut quantitas  $\frac{DEq \times PS}{PE}$  & vis, quam Sphæræ particula sua in axe ad distantiam PE exercet in corpusculum P, conjunctim: dico quod vis tota, qua corpusculum P trahitur versus Sphæram, est ut area ANB comprehensa sub axe Sphæræ AB, & linea curva ANB, quam punctum N perpetuo tangit.

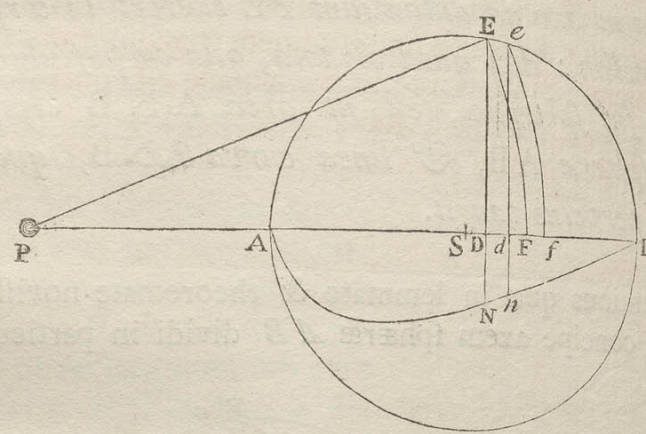
Etenim stantibus quæ in lemmate & theoremate novissimo constructa sunt, concipe axem sphaeræ  $AB$  dividi in particulas innu-



meras aequales  $\mathcal{D}d$ , & sphaeram totam dividi in totidem laminas  
 sphaericas concavo-convexas  $Effe$ ; & erigatur perpendiculum  $dn$ .  
 Per theorema superius vis, qua lamina  $Effe$  trahit corpusculum  $P$ ,  
 est ut  $Deq \times Ff$  & vis particulæ unius ad distantiam  $PE$  vel  $PF$   
D d exercita



exercita conjunctim. Est autem (per lemma novissimum)  $\mathcal{D}d$  ad  $Ff$  ut  $PE$  ad  $PS$ , & inde  $Ff$  æqualis  $\frac{PS \times \mathcal{D}d}{PE}$ ; &  $DEq \times Ff$  æquale  $\mathcal{D}d$  in  $\frac{DEq \times PS}{PE}$ , & propterea vis laminæ  $EFfe$  est ut  $\mathcal{D}d$  in  $\frac{DEq \times PS}{PE}$  & vis particulæ ad distantiam  $PF$  exercita conjunctim, hoc est (ex hypothesi) ut  $\mathcal{D}N \times \mathcal{D}d$ , seu area evanescens  $\mathcal{D}Nnd$ . Sunt igitur laminarum omnium vires, in corpus  $P$  exercitæ, ut area omnes  $\mathcal{D}Nnd$ , hoc est, sphaeræ vis tota ut area tota  $ANB$ .  $\mathcal{Q}$ .  $E$ .  $\mathcal{D}$ .



*Corol. 1.* Hinc si vis centripeta, ad particulas singulas tendens, eadem semper maneat in omnibus distantis, & fiat  $\mathcal{D}N$  ut  $\frac{DEq \times PS}{PE}$ ; erit vis tota, qua corpusculum a sphaera attrahitur, ut area  $ANB$ .

*Corol. 2.* Si particularum vis centripeta sit reciproce ut distantia corpusculi a se attracti, & fiat  $\mathcal{D}N$  ut  $\frac{DEq \times PS}{PEq}$ ; erit vis, qua corpusculum  $P$  a sphaera tota attrahitur, ut area  $ANB$ .

*Corol. 3.* Si particularum vis centripeta sit reciproce ut cubus distantiae corpusculi a se attracti, & fiat  $\mathcal{D}N$  ut  $\frac{DEq \times PS}{PEq^2}$ ; erit vis, qua corpusculum a tota sphaera attrahitur, ut area  $ANB$ .

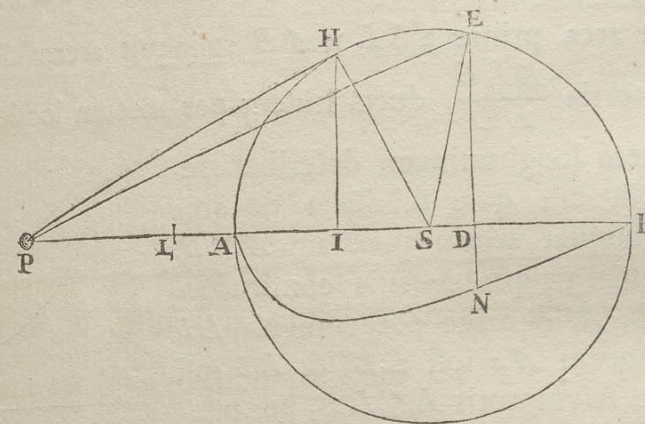
Corol.

*Corol. 4.* Et universaliter si vis centripeta ad singulas sphaeræ particulas tendens ponatur esse reciproce ut quantitas  $V$ , fiat autem  $\mathcal{D}N$  ut  $\frac{DEq \times PS}{PE \times V}$ ; erit vis, qua corpusculum a sphaera tota attrahitur, ut area  $ANB$ .

## PROPOSITIO LXXXI. PROBLEMA XLI.

*Stantibus jam positis, mensuranda est area ANB.*

A puncto  $P$  ducatur recta  $PH$  sphaeram tangens in  $H$ , & ad axem  $PAB$  demissa normali  $HI$ , bisecetur  $PI$  in  $L$ ; & erit  $PEq$  æquale  $PSq + SEq + 2PSD$ . (per prop. xxi. lib. 2. elem.) Est autem  $SEq$  seu  $SHq$  (ob similitudinem triangulorum  $SPH, SHI$ ) æquale rectangulo  $PSI$ . Ergo  $PEq$  æquale est contento sub  $PS$  &  $PS + SI + 2SD$ , hoc est, sub  $PS$  &  $2LS + 2SD$ , id est, sub  $PS$  &  $2LD$ . Porro  $DEquad.$  æquale est  $SEq - SDq$ , seu  $SEq -$



$LSq + 2SLD - LDq$ , id est,  $2SLD - LDq - ALB$ . Nam  $LSq - SEq$  seu  $LSq - SAq$  (per prop. vi. lib. 2. elem.) æquatur rectangulo  $ALB$ . Scribatur itaque  $2SLD - LDq - ALB$  pro  $DEq$ ; & quantitas  $\frac{DEq \times PS}{PE \times V}$ , quæ secundum corollarium quartum propositionis præcedentis est ut longitudo ordinatim applicatæ  $\mathcal{D}N$ , resolvet sese in tres partes  $\frac{2SLD \times PS}{PE \times V} -$

D d 2

LDq



DE MOTU  
CORPORUM

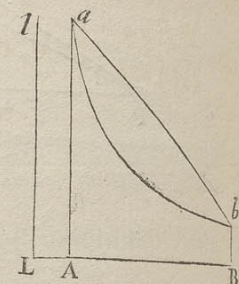
$\frac{LDq \times PS}{PE \times V} - \frac{ALB \times PS}{PE \times V}$  : ubi si pro V scribatur ratio inversa vis centripetæ, & pro PE medium proportionale inter PS & 2LD; tres illæ partes evadent ordinatim applicatæ linearum totidem curvarum, quarum area per methodos vulgatas innotescunt. Q. E. F.

Exempl. 1. Si vis centripeta ad singulas sphaeræ particulas tendens sit reciproce ut distantia; pro V scribe distantiam PE; dein  $2PS \times LD$  pro PEq, & fiet DN ut  $SL - \frac{1}{2}LD - \frac{ALB}{2LD}$ .

Pone DN æqualem ejus duplo  $2SL - LD - \frac{ALB}{LD}$ ; & ordinatæ pars data  $2SL$  ducta in longitudinem AB describet aream rectangulam  $2SL \times AB$ ; & pars indefinita LD ducta normaliter in eandem longitudinem per motum continuum, ea lege ut inter movendum crescendo vel decrecendo æquetur semper longitudini LD, describet aream  $\frac{LBq - LAq}{2}$ , id est, aream  $SL \times AB$ ; quæ subducta de area priore  $2SL \times AB$  relinquit aream  $SL \times AB$ . Pars autem tertia  $\frac{ALB}{LD}$ , ducta itidem per motum localem norma-

liter in eandem longitudinem, describet aream hyperbolicam; quæ subducta de area  $SL \times AB$  relinquet aream quæsitam ANB. Unde talis emergit problematis constructio. Ad puncta L, A, B erige perpendiculara LL, Aa, Bb, quorum Aa ipsi LB, & Bb ipsi LA æquetur. Asymptotis LL, LB, per puncta a, b describatur hyperbola a b. Et acta chorda ba claudet aream a b a areæ quæsitæ ANB æqualem.

Exempl. 2. Si vis centripeta ad singulas sphaeræ particulas tendens sit reciproce ut cubus distantia, vel (quod perinde est) ut cubus ille applicatus ad planum quodvis datum; scribe  $\frac{PE cub.}{2ASq}$  pro V, dein  $2PS \times LD$  pro PEq; & fiet DN ut  $\frac{SL \times ASq}{PS \times LD} - \frac{ASq}{2PS} - ALB$ .

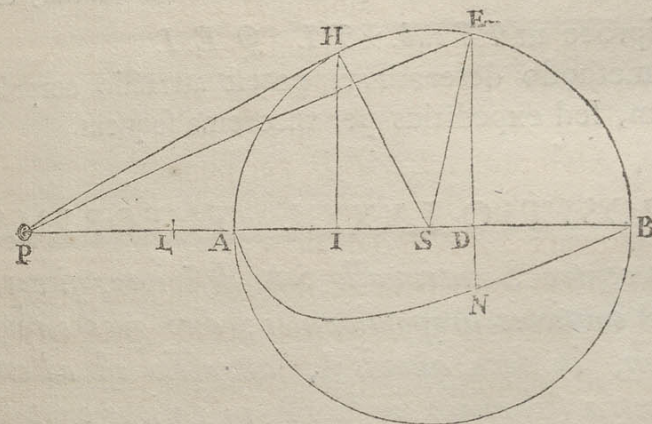
LIBER  
PRIMUS.

$\frac{ALB \times ASq}{2PS \times LDq}$ , id est (ob continue proportionales PS, AS, SI) ut  $\frac{LSI}{LD} - \frac{1}{2}SI - \frac{ALB \times SI}{2LDq}$ . Si ducantur hujus partes tres in longitudinem AB, prima  $\frac{LSI}{LD}$  generabit aream hyperbolicam; secunda  $\frac{1}{2}SI$  aream  $\frac{1}{2}AB \times SI$ ; tertia  $\frac{ALB \times SI}{2LDq}$  aream

$\frac{ALB \times SI}{2LA} - \frac{ALB \times SI}{2LB}$ , id est  $\frac{1}{2}AB \times SI$ . De prima subdu-

catur summa secundæ & tertiæ, & manebit area quæsitæ ANB. Unde talis emergit problematis constructio. Ad puncta L, A, S, B erige perpendiculara LL, Aa, Ss, Bb, quorum Ss ipsi SI æquetur, perque punctum s asymptotis LL, LB describatur hyperbola a s b occurrens perpendicularis Aa, Bb in a & b; & rectangulum 2ASI subductum de area hyperbolica Aa s b b relinquet aream quæsitam ANB.

Exempl. 3. Si vis centripeta, ad singulas sphaeræ particulas tendens, decrescit in quadruplicata ratione distantia a particulis; scribe  $\frac{PEqq}{2AS cub.}$  pro V, dein  $\sqrt{2PS \times LD}$  pro PE, & fiet DN ut



$$\frac{SIq \times SL}{\sqrt{2}SI} \times \frac{1}{\sqrt{LDc}} - \frac{SIq}{2\sqrt{2}SI} \times \frac{1}{\sqrt{LD}} - \frac{SIq \times ALB}{2\sqrt{2}SI} \times \frac{1}{\sqrt{LDqc}}.$$

Cujus

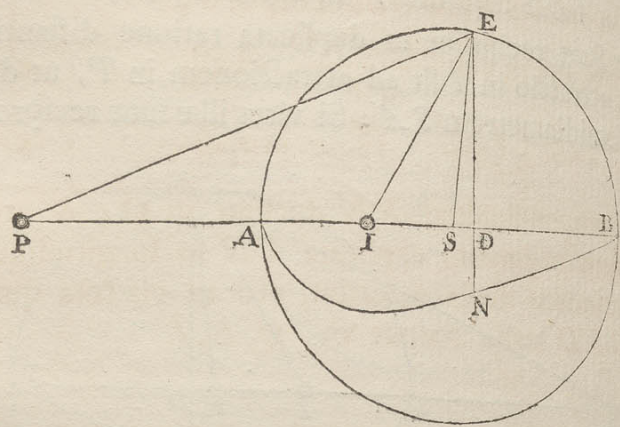






DE MOTU  
CORPORUM

sphæræ puncto quovis  $E$  manantes, esse ad invicem in distantis  $IE$ ,  $PE$ , ut  $PE^n$  ad  $IE^n$  (ubi numerus  $n$  designet indicem potestatum  $PE$  &  $IE$ ) & ordinatæ illæ fient ut  $\frac{DEq \times PS}{PE \times PE}$  &  $\frac{DEq \times IS}{IE \times IE}$ , quarum ratio ad invicem est ut  $PS \times IE \times IE^n$  ad  $IS \times PE \times PE^n$ . Quoniam ob continue proportionales  $SI$ ,  $SE$ ,  $SP$ , similia sunt triangula  $SPE$ ,  $SEI$ , & inde fit  $IE$  ad  $PE$  ut



$IS$  ad  $SE$  vel  $SA$ ; pro ratione  $IE$  ad  $PE$  scribe rationem  $IS$  ad  $SA$ ; & ordinarum ratio evadet  $PS \times IE^n$  ad  $SA \times PE^n$ . Sed  $PS$  ad  $SA$  subduplicata est ratio distantiarum  $PS$ ,  $SI$ ; &  $IE^n$  ad  $PE^n$  (ob proportionales  $IE$  ad  $PE$  ut  $IS$  ad  $SA$ ) subduplicata est ratio virium in distantis  $PS$ ,  $IS$ . Ergo ordinatæ, & propterea areae quas ordinatæ describunt, hisque proportionales attractiones, sunt in ratione composita ex subduplicatis illis rationibus. Q. E. D.

## PROPOSITIO LXXXIII. PROBLEMA XLII.

Invenire vim qua corpusculum in centro sphæræ locatum ad ejus segmentum quodcumque attrahitur.

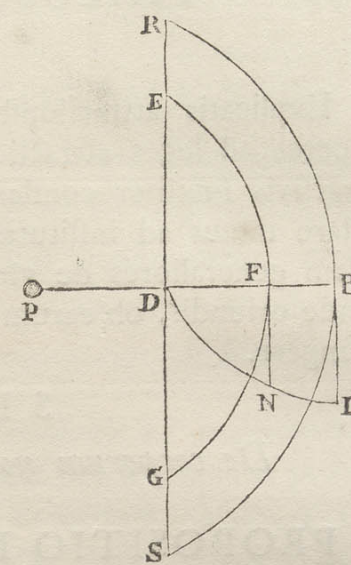
Sit  $P$  corpus in centro sphæræ, &  $RBSD$  segmentum ejus plano  $RDS$  & superficie sphæræ  $RBS$  contentum. Superficie sphæræ  $EFG$  centro  $P$  descripta secetur  $DB$  in  $F$ , ac distin-

guatur

LIBER  
PRIMUS.

guatur segmentum in partes  $BREFGS$ ,  $FEDG$ . Sit autem superficies illa non pure mathematica, sed physica, profunditatem habens quam minimam. Nominetur illa profunditas  $O$ , & erit hæc superficies (per demonstrata Archimedis) ut  $PF \times DF \times O$ . Ponamus præterea vires attractivas particularum sphæræ esse reciproce ut distantiarum dignitas illa, cujus index est  $n$ ; & vis, qua superficies  $EFG$  trahit corpus  $P$ , erit (per prop. LXXIX.) ut  $\frac{DEq \times O}{PF^n}$ , id est, ut  $\frac{2DF \times O}{PF^{n-1}} - \frac{DFq \times O}{PF^n}$ . Huic propor-

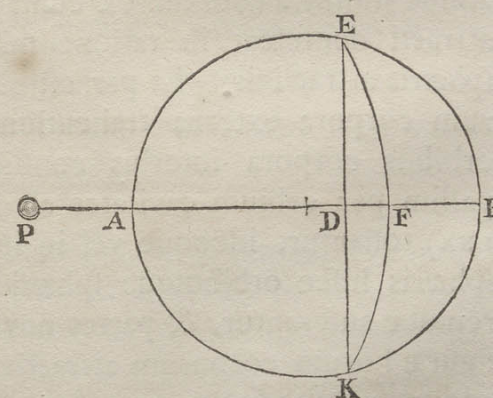
tionale sit perpendicularum  $FN$  ductum in  $O$ ; & area curvilinea  $BFI$ , quam ordinatim applicata  $FN$  in longitudinem  $DB$  per motum continuum ducta describit, erit ut vis tota qua segmentum totum  $RBSD$  trahit corpus  $P$ . Q. E. I.



## PROPOSITIO LXXXIV. PROBLEMA XLIII.

Invenire vim, qua corpusculum, extra centrum sphæræ in axe segmenti cujusvis locatum, attrahitur ab eodem segmento.

A segmento  $EBK$  trahatur corpus  $P$  in ejus axe  $ADB$  locatum. Centro  $P$  intervallo  $PE$  describatur superficies sphæræ  $EFK$ , qua distinguatur segmentum in partes duas  $EBKFE$  &  $EFKDE$ . Quærat vis partis prioris per prop. LXXXI. & vis partis posterioris per prop. LXXXIII; & summa virium erit vis segmenti totius  $EBKDE$ . Q. E. I.



E e

Scholium



Scholium.

Explicatis attractionibus corporum sphaericorum, jam pergere liceret ad leges attractionum aliorum quorundam ex particulis attractivis similiter constantium corporum; sed ista particulatim tractare minus ad institutum spectat. Suffecerit propositiones quaedam generales de viribus hujusmodi corporum, deque motibus inde oriundis, ob earum in rebus philosophicis aliqualem usum, subjungere.

SECTIO XIII.

De corporum non sphaericorum viribus attractivis.

PROPOSITIO LXXXV. THEOREMA XLII.

*Si corporis attracti, ubi attrahenti contiguum est, attractio longe fortior sit, quam cum vel minimo intervallo separantur ab invicem: vires particularum trahentis, in recessu corporis attracti, decrescunt in ratione plusquam duplicata distantiarum a particulis.*

Nam si vires decrescunt in ratione duplicata distantiarum a particulis; attractio versus corpus sphaericum, propterea quod (per prop. LXXIV.) sit reciproce ut quadratum distantiae attracti corporis a centro sphaerae, haud sensibilibiter augebitur ex contactu; atque adhuc minus augebitur ex contactu, si attractio in recessu corporis attracti decrescat in ratione minore. Patet igitur propositio de sphaeris attractivis. Et par est ratio orbium sphaericorum concavorum corpora externa trahentium. Et multo magis res constat in orbibus corpora interius constituta trahentibus, cum attractiones passim per orbium cavitates ab attractionibus contrariis (per prop. LXX) tollantur, ideoque vel in ipso contactu nullae sunt. Quod si sphaeris hisce orbibusque sphaericis partes qualibet a loco contactus remotae auferantur, & partes novae ubivis addantur: mutari possunt figurae horum corporum attractivorum pro lubitu, nec tamen partes additae vel subductae, cum sint a loco contactus remotae, augebunt notabiliter attractionis excessum, qui ex contactu oritur. Constat igitur propositio de corporibus figurarum omnium. Q. E. D.

PROPO.

LIBER  
PRIMUS.

PROPOSITIO LXXXVI. THEOREMA XLIII.

*Si particularum, ex quibus corpus attractivum componitur, vires in recessu corporis attracti decrescunt in triplicata vel plusquam triplicata ratione distantiarum a particulis: attractio longe fortior erit in contactu, quam cum attrahens & attractum intervallo vel minimo separantur ab invicem.*

Nam attractionem in accessu attracti corpusculi ad hujusmodi sphaeram trahentem augeri in infinitum, constat per solutionem problematis XLII. in exemplo secundo ac tertio exhibitam. Idem, per exempla illa & theorema XLII. inter se collata, facile colligitur de attractionibus corporum versus orbis concavo-convexos, sive corpora attracta collocentur extra orbis, sive intra in eorum cavitatibus. Sed & addendo vel auferendo his sphaeris & orbibus ubivis extra locum contactus materiam quamlibet attractivam, eo ut corpora attractiva induant figuram quamvis assignatam, constabit propositio de corporibus universis. Q. E. D.

PROPOSITIO LXXXVII. THEOREMA XLIV.

*Si corpora duo sibi invicem similia, & ex materia aequaliter attractiva constantia, seorsim attrahant corpuscula sibi ipsis proportionalia & ad se similiter posita: attractiones acceleratrices corpusculorum in corpora tota erunt ut attractiones acceleratrices corpusculorum in eorum particulas totis proportionales, & in totis similiter positas.*

Nam si corpora distinguantur in particulas, quae sint totis proportionales, & in totis similiter sitae; erit, ut attractio in particulam quamlibet unius corporis ad attractionem in particulam correspondentem in corpore altero, ita attractiones in particulas singulas primi corporis ad attractiones in alterius particulas singulas correspondentes; & componendo, ita attractio in totum primum corpus ad attractionem in totum secundum. Q. E. D.

E e 2

Corol.







dem erit, ac si trahentia illa, servato gravitatis centro communi, coirent & in globum formarentur.

Demonstratur eodem modo, atque propositio superior.

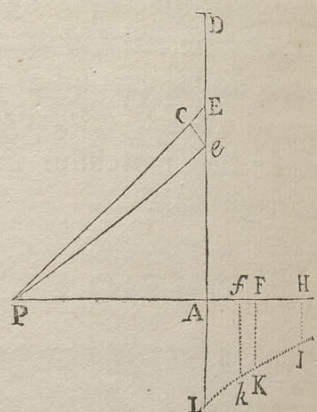
Corol. Ergo motus corporis attracti idem erit, ac si corpora trahentia, servato communi gravitatis centro, coirent & in globum formarentur. Ideoque si corporum trahentium commune gravitatis centrum vel quiescit, vel progreditur uniformiter in linea recta, corpus attractum movebitur in ellipsi, centrum habente in communi illo trahentium centro gravitatis.

PROPOSITIO XC. PROBLEMA XLIV.

Si ad singula circuli cujuscunque puncta tendant vires æquales centripetæ, crescentes vel decrescentes in quacunque distantiarum ratione: invenire vim, qua corpusculum attrahitur abivis positum in recta, quæ plano circuli ad centrum ejus perpendiculariter insistit.

Centro  $A$  intervallo quovis  $AD$ , in plano, cui recta  $AP$  perpendicularis est, describi intelligatur circulus; & invenienda sit vis, qua corpusculum quodvis  $P$  in eundem attrahitur. A circuli puncto quovis  $E$  ad corpusculum attractum  $P$  agatur recta  $PE$ . In recta  $PA$  capiatur  $PF$  ipsi  $PE$  æqualis, & erigatur normalis  $FK$ , quæ sit ut vis qua punctum  $E$  trahit corpusculum  $P$ . Sitque  $IKL$  curva linea quam punctum  $K$  perpetuo tangit. Occurrat eadem circuli plano in  $L$ . In  $PA$  capiatur  $PH$  æqualis  $PD$ , & erigatur perpendicularum  $HI$  curvæ prædictæ occurrens in  $I$ ; & erit corpusculi  $P$  attractio in circulum ut area  $AHIL$  ducta in altitudinem  $AP$ . Q. E. I.

Etenim in  $AE$  capiatur linea quam minima  $Ee$ . Jungatur  $Pe$ , & in  $PE$ ,  $PA$  capiatur  $PC$ ,  $Pf$  ipsi  $Pe$  æquales. Et quoniam



vis, qua annuli centro  $A$  intervallo  $AE$  in plano prædicto descripti punctum quodvis  $E$  trahit ad se corpus  $P$ , ponitur esse ut  $FK$ , & inde vis, qua punctum illud trahit corpus  $P$  versus  $A$ , est ut  $\frac{AP \times FK}{PE}$ , & vis, qua annulus totus trahit corpus  $P$  versus  $A$ , ut

annulus &  $\frac{AP \times FK}{PE}$  conjunctim; annulus autem iste est ut rectangulum sub radio  $AE$  & latitudine  $Ee$ , & hoc rectangulum (ob proportionales  $PE$  &  $AE$ ,  $Ee$  &  $CE$ ) æquatur rectangulo  $PE \times CE$  seu  $PE \times Ff$ ; erit vis, qua annulus iste trahit corpus  $P$  versus  $A$ , ut  $PE \times Ff$  &  $\frac{AP \times FK}{PE}$  conjunctim, id est, ut contentum  $Ff \times FK \times AP$ , sive ut area  $FKkf$  ducta in  $AP$ . Et propterea summa virium, quibus annuli omnes in circulo, qui centro  $A$  & intervallo  $AD$  describitur, trahunt corpus  $P$  versus  $A$ , est ut area tota  $AHIKL$  ducta in  $AP$ . Q. E. D.

Corol. 1. Hinc si vires punctorum decrescunt in duplicata distantiarum ratione, hoc est, si sit  $FK$  ut  $\frac{1}{PF}$  quad., atque ideo area

$AHIKL$  ut  $\frac{1}{PA} - \frac{1}{PH}$ ; erit attractio corpusculi  $P$  in circulum ut  $1 - \frac{PA}{PH}$ , id est, ut  $\frac{AH}{PH}$ .

Corol. 2. Et universaliter, si vires punctorum ad distantias  $D$  sint reciproce ut distantiarum dignitas quælibet  $D^n$ , hoc est, si sit  $FK$  ut  $\frac{1}{D^n}$ , ideoque area  $AHIKL$  ut  $\frac{1}{PA^{n-1}} - \frac{1}{PH^{n-1}}$ ; erit attractio corpusculi  $P$  in circulum ut  $\frac{1}{PA^{n-2}} - \frac{PA}{PH^{n-1}}$ .

Corol. 3. Et si diameter circuli augeatur in infinitum, & numerus  $n$  sit unitate major; attractio corpusculi  $P$  in planum totum infinitum erit reciproce ut  $PA^{n-2}$ , propterea quod terminus alter  $\frac{PA}{PH^{n-1}}$  evanescet.

PROPO.



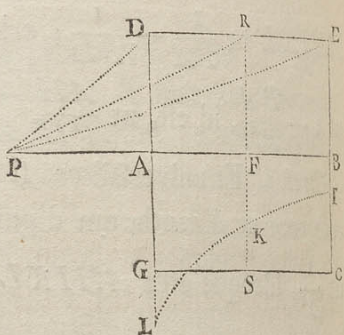
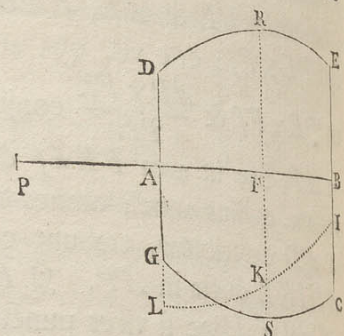
PROPOSITIO XCI. PROBLEMA XLV.

*Invenire attractionem corpusculi siti in axe solidi rotundi, ad  
cujus puncta singula tendunt vires æquales centripetæ in  
quacunque distantiarum ratione decrecentes.*

In solidum  $DECG$  trahatur corpusculum  $P$ , situm in ejus axe  
 $AB$ . Circulo quolibet  $RFS$  ad hunc  
axem perpendiculari secetur hoc soli-  
dum, & in ejus semidiametro  $FS$ , in pla-  
no aliquo  $PALKB$  per axem transeun-  
te, capiatur (per prop. xc.) longitudo  
 $FK$  vi, qua corpusculum  $P$  in circulum  
illum attrahitur, proportionalis. Tan-  
gat autem punctum  $K$  curvam lineam  
 $LKI$ , planis extimorum circularum  
 $AL$  &  $BI$  occurrentem in  $L$  &  $I$ ; & erit attractio corpusculi  $P$   
in solidum ut area  $LABI$ . Q. E. I.

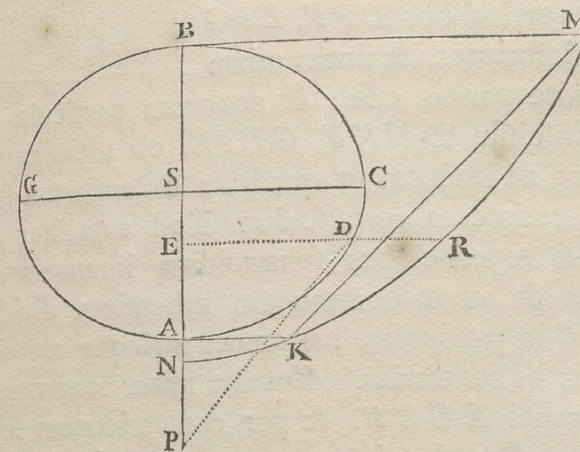
*Corol. 1.* Unde si solidum cylin-  
drus sit, parallelogrammo  $ADEB$   
circa axem  $AB$  revoluto descriptus,  
& vires centripetæ in singula ejus  
puncta tendentes sint reciproce ut  
quadrata distantiarum a punctis: erit  
attractio corpusculi  $P$  in hunc cy-  
lindrum ut  $AB - PE + PD$ . Nam  
ordinatim applicata  $FK$  (per corol. 1.  
prop. xc.) erit ut  $1 - \frac{PF}{PR}$ . Hujus pars 1 ducta in longitudinem

$AB$ , describit aream  $1 \times AB$ : & pars altera  $\frac{PF}{PR}$  ducta in longitu-  
dinem  $PB$ , describit aream  $1$  in  $PE - AD$ , id quod ex curva  
 $LKI$  quadratura facile ostendi potest; & similiter pars eadem du-  
cta in longitudinem  $PA$  describit aream  $1$  in  $PD - AD$ , ductaque  
in ipsarum  $PB$ ,  $PA$  differentiam  $AB$  describit arearum differen-  
tiam  $1$  in  $PE - PD$ . De contento primo  $1 \times AB$  auferatur con-  
tentum



centum postremum 1 in  $PE - PD$ , & restabit area  $LABI$  æqualis  
1 in  $AB - PE + PD$ . Ergo vis, huic areæ proportionalis, est  
ut  $AB - PE + PD$ .

*Corol. 2.* Hinc etiam vis innotescit, qua sphærois  $AGBC$  at-  
trahit corpus quodvis  $P$ , exterius in axe suo  $AB$  situm. Sit  $NKRM$   
sectio conica cujus ordinatim applicata  $ER$ , ipsi  $PE$  perpendicu-  
laris, æquetur semper longitudini  $PD$ , quæ ducitur ad punctum illud  
 $D$ , in quo applicata ista sphæroidem secat. A sphæroidis verticibus  
 $A, B$  ad ejus axem  $AB$  erigantur perpendiculara  $AK, BM$  ipsis  $AP,$   
 $BP$  æqualia respective, & propterea sectioni conicæ occurrentia in  
 $K$  &  $M$ ; & jungatur  $KM$  auferens ab eadem segmentum  $KMRK$ .



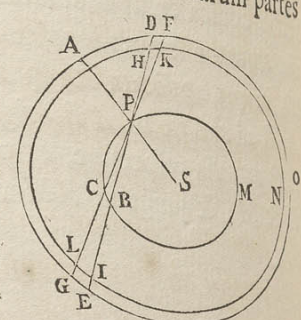
Sit autem sphæroidis centrum  $S$  & semidiameter maxima  $SC$ : &  
vis, qua sphærois trahit corpus  $P$ , erit ad vim, qua sphæra diametro  
 $AB$  descripta trahit idem corpus, ut  $\frac{AS \times CSq - PS \times KMRK}{PSq + CSq - ASq}$

ad  $\frac{AS \text{ cub.}}{3PS \text{ quad.}}$ . Et eodem computandi fundamento invenire licet  
vires segmentorum sphæroidis.

*Corol. 3.* Quod si corpusculum intra sphæroidem in axe colloce-  
tur; attractio erit ut ipsius distantia a centro. Id quod facilius hoc  
argumento colligitur, si particula in axe sit, siue in alia quavis dia-  
metro data. Sit  $AGOF$  sphærois attrahens,  $S$  centrum ejus, &  $P$   
corpus attractum. Per corpus illud  $P$  agantur tum semidiameter  
 $SPA$ , tum rectæ duæ quævis  $DE, FG$  sphæroidi hinc inde occur-  
rentes



rentes in  $D$  &  $E$ ,  $F$  &  $G$ ; sintque  $PCM$ ,  $HLN$  superficies sphæroidum duarum interiorum, exteriori similium & concentricarum, quarum prior transeat per corpus  $P$ , & secet rectas  $DE$  &  $FG$  in  $B$  &  $C$ , posterior secet easdem rectas in  $H$ ,  $I$  &  $K$ ,  $L$ . Habeant hinc inde intercepta  $DP$  &  $BE$ ,  $FP$  &  $CG$ ,  $DH$  &  $IE$ ,  $FK$  &  $LG$  sibi mutuo æquales; propterea quod rectæ  $DE$ ,  $PB$  &  $HI$  bifecantur in eodem puncto, ut & rectæ  $FG$ ,  $PC$  &  $KL$ . Concipe jam  $DPF$ ,  $EPG$  designare conos oppositos, angulis verticalibus  $DPF$ ,  $EPG$  infinite parvis descriptos, & lineas etiam  $DH$ ,  $EI$  infinite parvas esse; & conorum particula sphæroidum superficiebus abscissa  $DHKE$ ,  $GLIE$ , ob æqualitatem linearum  $DH$ ,  $EI$ , erunt ad invicem ut quadrata distantiarum suarum a corpore  $P$ , & propterea corpusculum illud æqualiter trahent. Et pari ratione, si superficiebus sphæroidum innumerarum similium concentricarum & axem communem habentium dividantur spatia  $DPF$ ,  $EGCB$  in particulas, hæ omnes utrinque æqualiter trahent corpus  $P$  in partes contrarias. Æquales igitur sunt vires conici  $DPF$  & segmenti conici  $EGCB$ , & per contrarietatem se mutuo destruant. Et par est ratio virium materiæ omnis extra sphæroidem intimam  $PCBM$ . Trahitur igitur corpus  $P$  a sola sphæroide intima  $PCBM$ , & propterea (per corol. 3. prop. LXXXI.) attractio ejus est ad vim, qua corpus  $A$  trahitur a sphæroide tota  $AGOD$ , ut distantia  $PS$  ad distantiam  $AS$ . Q. E. D.



## PROPOSITIO XCII. PROBLEMA XLVI.

Dato corpore attractivo, invenire rationem decrementi virium centripetarum in ejus puncta singula tendentium.

E corpore dato formanda est sphæra vel cylindrus aliæ figura regularis, cujus lex attractionis, cuivis decrementi rationi congruens (per prop. LXXX. LXXXI. & XCI.) inveniri potest. Dein factis experimentis inveniendæ est vis attractionis in diversis distantis, & lex attractionis

attractionis in totum inde patefacta dabit rationem decrementi virium partium singularum, quam invenire oportuit.

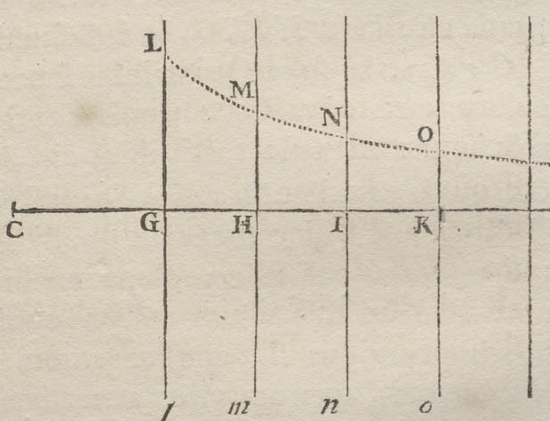
## PROPOSITIO XCIII. THEOREMA XLVII.

Si solidum ex una parte planum, ex reliquis autem partibus infinium, constet ex particulis æqualibus æqualiter attractivis, quarum vires in recessu a solido decrescunt in ratione potestatis cujusvis distantiarum plusquam quadratice, & vis solidi totius corpusculum ad utramvis plani partem consensum trahatur: dico quod solidi vis illa attractiva, in recessu ab ejus superficie plana, decrescet in ratione potestatis, cujus latus est distantia corpusculi a plano, & index ternario minor quam index potestatis distantiarum.

Cas. 1. Sit  $LGI$  planum quo solidum terminatur. Jaceat solidum autem ex parte plani hujus versus  $I$ , inque plana innumera  $mHM$ ,  $nIN$ ,  $oKO$ , &c. ipsi  $GL$  parallela resolvatur. Et primo collocetur corpus attractum  $C$  extra solidum. Agatur autem  $CGHI$  planis illis innumeris perpendicularis, & decrescant vires attractivæ punctorum solidi in ratione potestatis distantiarum, cujus index sit numerus ternario non minor. Ergo (per corol. 3. prop. xc.) vis, qua planum quodvis  $mHM$  trahit punctum  $C$ , est reciproce ut  $CH^{n-2}$ . In plano  $mHM$  capiatur longitudo  $HM$  ipsi  $CH^{n-2}$  reciproce proportionalis, & erit vis illa ut  $HM$ . Similiter in planis singulis  $GL$ ,  $nIN$ ,  $oKO$ , &c. capiantur longitudines  $GL$ ,  $IN$ ,  $KO$ , &c. ipsis  $CG^{n-2}$ ,  $CI^{n-2}$ ,  $CK^{n-2}$ , &c. reciproce proportionales; & vires planorum eorundem erunt ut longitudines capte, ideoque summa virium ut summa longitudinum, hoc est, vis solidi totius ut area

F f 2

GLOK





*GLOK* in infinitum versus *OK* producta. Sed area illa (per notas quadraturarum methodos) est reciproce ut  $CG^{n-1}$ , & propterea vis solidi totius est reciproce ut  $CG^{n-1}$ . *Q. E. D.*

*Cas. 2.* Collocetur jam corpusculum *C* ex parte plani *IGL* intra solidum, & capiatur distantia *CK* æqualis distantiae *CG*. Et solidi pars *LGIOKO*, planis parallelis *IGL*, *OKO* terminata, corpusculum *C* in medio situm nullam in partem trahet, contrariis oppositorum punctorum actionibus se mutuo per æqualitatem tollentibus. Proinde corpusculum *C* sola vi solidi ultra planum *OK* fiti trahitur. Hæc autem vis (per casum primum) est reciproce ut  $CK^{n-1}$ , hoc est (ob æquales *CG*, *CK*) reciproce ut  $CG^{n-1}$ . *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc si solidum *LGIN* planis duobus infinitis parallelis *LG*, *IN* utrinque terminetur; innotescit ejus vis attractiva, subducendo de vi attractiva solidi totius infiniti *LGKO* vim attractivam partis ulterioris *NIKO*, in infinitum versus *KO* productæ.

*Corol. 2.* Si solidi hujus infiniti pars ulterior, quando attractio ejus collata cum attractione partis citerioris nullius pene est momenti, rejiciatur: attractio partis illius citerioris augendo distantiam decrescet quam proxime in ratione potestatis  $CG^{n-1}$ .

*Corol. 3.* Et hinc si corpus quodvis finitum & ex una parte planum trahat corpusculum e regione medii illius plani, & distantia inter corpusculum & planum collata cum dimensionibus corporis attractantis perexigua sit, constet autem corpus attrahens ex particulis homogeneis, quarum vires attractivæ decrescunt in ratione potestatis cujusvis plusquam quadruplicatæ distantiarum; vis attractiva corporis totius decrescet quamproxime in ratione potestatis, cujus latus sit distantia illa perexigua, & index ternario minor quam index potestatis prioris. De corpore ex particulis constante, quarum vires attractivæ decrescunt in ratione potestatis triplicatæ distantiarum, assertio non valet; propterea quod, in hoc casu, attractio partis illius ulterioris corporis infiniti in corollario secundo, semper est infinite major quam attractio partis citerioris.

*Scholium.*

*Scholium.*

Si corpus aliquod perpendiculariter versus planum datum trahatur, & ex data lege attractionis quærat motus corporis: solvetur problema quærendo (per prop. xxxix) motum corporis recta descendens ad hoc planum, & (per legum corol. 2) componendo motum istum cum uniformi motu, secundum lineas eidem plano parallelas factæ. Et contra, si quærat lex attractionis in planum secundum lineas perpendiculares factæ, ea conditione ut corpus attractum in data quacunque curva linea moveatur, solvetur problema operando ad exemplum problematis tertii.

Operationes autem contrahi solent resolvendo ordinatim applicatas in series convergentes. Ut si ad basem *A* in angulo quovis dato ordinatim applicetur longitudo *B*, quæ sit ut basis dignitas

qualibet  $A^{\frac{m}{n}}$ ; & quærat vis qua corpus, secundum positionem ordinatim applicatæ, vel in basem attractum vel a basi fugatum, moveri possit in curva linea, quam ordinatim applicata termino suo superiore semper attingit: Suppono basem augeri parte

quam minima *O*, & ordinatim applicatam  $A + O$   $\frac{m}{n}$  resolvo in seriem infinitam  $A^{\frac{m}{n}} + \frac{m}{n} OA^{\frac{m-n}{n}} + \frac{m(m-n)}{2nn} OOA^{\frac{m-2n}{n}}$  &c. atque hujus termino in quo *O* duarum est dimensionum, id est, termino  $\frac{m(m-n)}{2nn} OOA^{\frac{m-2n}{n}}$  vim proportionalem esse suppono. Est

igitur vis quæsitæ ut  $\frac{m(m-n)}{nn} A^{\frac{m-2n}{n}}$ , vel quod perinde est, ut  $\frac{m(m-n)}{nn} B^{\frac{m-2n}{m}}$ . Ut si ordinatim applicata parabolam attingat, existente  $m=2$ , &  $n=1$ : fiet vis ut data  $2B^0$ , ideoque dabitur. Data igitur vi corpus movebitur in parabola, quemadmodum *Galileus* demonstravit. Quod si ordinatim applicata hyperbolam attingat, existente  $m=0-1$ , &  $n=1$ ; fiet vis ut  $2A^{-1}$  seu  $2B^1$ : ideoque vi, quæ sit ut cubus ordinatim applicatæ, corpus movebitur in hyper-



DE MOTU  
CORPORUM

hyperbola. Sed missis hujusmodi propositionibus, pergo ad alias quasdam de motu, quas nondum attigi.

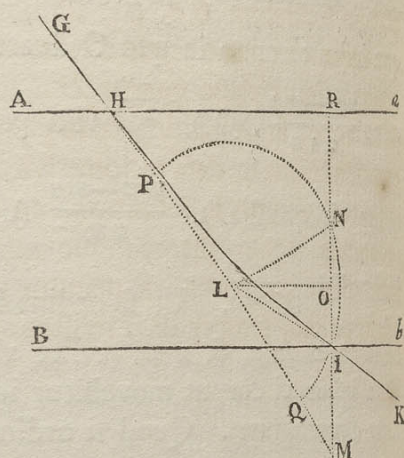
## SECTIO XIV.

De motu corporum minimorum, quæ viribus centripetis ad singulas magni alicujus corporis partes tendentibus agitantur.

## PROPOSITIO XCIV. THEOREMA XLVIII.

Si media duo similaria, spatio planis parallelis utrinque terminato, distinguantur ab invicem, & corpus in transitu per hoc spatium attrahatur vel impellatur perpendiculariter versus medium alterutrum, neque ulla alia vi agitur vel impediatur; sit autem attractio, in æqualibus ab utroque plano distantis ad eandem ipsius partem captis, ubique eadem: dico quod sinus incidentiæ in planum alterutrum erit ad sinum emergentiæ ex plano altero in ratione data.

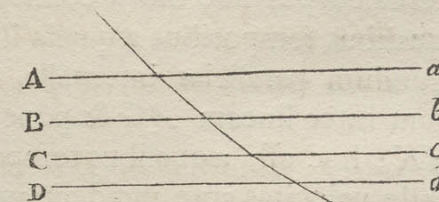
Cas. 1. Sunt  $Aa$ ,  $Bb$  plana duo parallela. Incidat corpus in planum prius  $Aa$  secundum lineam  $GH$ , ac toto suo per spatium intermedium transitu attrahatur vel impellatur versus medium incidentiæ, eaque actione describat lineam curvam  $HI$ , & emergat secundum lineam  $IK$ . Ad planum emergentiæ  $Bb$  erigatur perpendicularum  $IM$ , occurrens tum lineæ incidentiæ  $GH$  productæ in  $M$ , tum plano incidentiæ  $Aa$  in  $R$ ; & lineæ emergentiæ  $KI$  productæ occurrat  $HM$  in  $L$ . Centro  $L$  intervallo  $LI$  describatur circulus, secans tam  $HM$  in  $P$  &  $Q$ , quam  $MI$  productam in  $N$ ; & primo si attractio vel impulsus ponatur



LIBER  
PRIMUS.

ponatur uniformis, erit (ex demonstratis Galilei) curva  $HI$  parabola, cujus hæc est proprietas, ut rectangulum sub dato latere recto & lineæ  $IM$  æquale sit  $HM$  quadrato; sed & lineæ  $HM$  bisecabitur in  $L$ . Unde si ad  $MI$  demittatur perpendicularum  $LO$ , æquales erunt  $MO$ ,  $OR$ ; & additis æqualibus  $ON$ ,  $OI$ , fient totæ æquales  $MN$ ,  $IR$ . Proinde cum  $IR$  detur, datur etiam  $MN$ ; estque rectangulum  $NMI$  ad rectangulum sub latere recto &  $IM$ , hoc est, ad  $HMq$ , in data ratione. Sed rectangulum  $NMI$  æquale est rectangulo  $PMQ$ , id est, differentiæ quadratorum  $MLq$ , &  $PLq$  seu  $LIq$ ; &  $HMq$  datam rationem habet ad sui ipsius quartam partem  $MLq$ : ergo datur ratio  $MLq - LIq$  ad  $MLq$ , & convertendo ratio  $LIq$  ad  $MLq$ , & ratio dimidiata  $LI$  ad  $ME$ . Sed in omni triangulo  $LMI$ , sinus angulorum sunt proportionales lateribus oppositis. Ergo datur ratio sinus anguli incidentiæ  $LMR$  ad sinum anguli emergentiæ  $LIR$ . Q. E. D.

Cas. 2. Transeat jam corpus successive per spatia plura parallelis planis terminata,  $AabB$ ,  $BbcC$ , &c. & agitur vi quæ sit in singulis separatim uniformis, at in diversis diversa; & per jam demonstrata, sinus incidentiæ in planum primum  $Aa$  erit ad sinum emergentiæ ex plano secundo  $Bb$ , in data ratione; & hic sinus, qui est sinus incidentiæ in planum secundum  $Bb$ , erit ad sinum emergentiæ ex plano tertio  $Cc$ , in data ratione; & hic sinus ad sinum emergentiæ ex plano quarto  $Dd$ , in data ratione; & sic in infinitum: & ex æquo, sinus incidentiæ in planum primum ad sinum emergentiæ ex plano ultimo in data ratione. Minuantur jam planorum intervalla & augeatur numerus in infinitum, eo ut attractionis vel impulsus actio, secundum legem quamcunque assignatam, continua reddatur; & ratio sinus incidentiæ in planum primum ad sinum emergentiæ ex plano ultimo, semper data existens, etiamnum dabitur. Q. E. D.



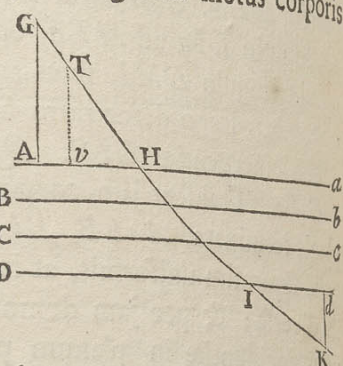
PROPO.



## PROPOSITIO XCV. THEOREMA XLIX.

*Isdem positis; dico quod velocitas corporis ante incidentiam est ad ejus velocitatem post emergentiam, ut sinus emergentiae ad sinum incidentiae.*

Capiantur  $AH$ ,  $Id$  æquales, & erigantur perpendiculara  $AG$ ,  $dK$  occurrentia lineis incidentiae & emergentiae  $GH$ ,  $IK$ , in  $G$  &  $K$ . In  $GH$  capiatur  $TH$  æqualis  $IK$ , & ad planum  $Aa$  demittatur normaliter  $Tv$ . Et (per legem. corol. 2.) distinguatur motus corporis in duos, unum planis  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$ , &c. perpendiculararem, alterum iisdem parallelum. Vis attractionis vel impulsus, agendo secundum lineas perpendiculares, nil mutat motum secundum parallelas, & propterea corpus hoc motu conficiet æqualibus temporibus æqualia illa secundum parallelas intervalla, quæ sunt inter lineam  $AG$  & punctum  $H$ , interque punctum  $I$  & lineam  $dK$ ; hoc est, æqualibus temporibus describet lineas  $GH$ ,  $IK$ . Proinde velocitas ante incidentiam est ad velocitatem post emergentiam, ut  $GH$  ad  $IK$  vel  $TH$ , id est, ut  $AH$  vel  $Id$  ad  $vH$ , hoc est (respectu radii  $TH$  vel  $IK$ ) ut sinus emergentiae ad sinum incidentiae.  $Q.E.D.$



## PROPOSITIO XCVI. THEOREMA L.

*Isdem positis, & quod motus ante incidentiam velocior sit quam postea: dico quod corpus, inclinando lineam incidentiae, reflectetur tandem, & angulus reflexionis fiet æqualis angulo incidentiae.*

Nam concipe corpus inter parallela plana  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$ , &c. describere arcus parabolicos, ut supra; sintque arcus illi  $HP$ ,  $PQ$ ,  $QR$ , &c. Et sit ea lineæ incidentiae  $GH$  obliquitas ad planum pri-

mum

## PRINCIPIA MATHEMATICA.

um  $Aa$ , ut sinus incidentiae sit ad radium circuli, cujus est sinus, in ea ratione quam habet idem sinus incidentiae ad sinum emergentiae ex plano  $Dd$ , in spatium  $DdeE$ : & ob sinum emergentiae jam factum æqualem radio, angulus emergentiae erit rectus, ideoque linea emergentiae coincidet cum plano  $Dd$ . Perveniat corpus ad hoc planum in puncto  $R$ ; & quoniam linea emergentiae coincidet cum eodem plano, perspicuum est quod corpus non potest ultra pergere versus planum  $Ee$ . Sed nec potest idem pergere in linea emergentiae  $Rd$ , propterea quod perpetuo attrahitur vel impellitur versus medium incidentiae. Revertetur itaque inter plana  $Cc$ ,  $Dd$ , describendo arcum parabolæ  $QRq$ , cujus vertex principalis (juxta demonstratam Galilei) est in  $R$ ; secabit planum  $Cc$  in eodem angulo in  $q$ , ac prius in  $Q$ ; dein pergendo in arcubus parabolicis  $qp$ ,  $ph$ , &c. arcubus prioribus  $QP$ ,  $PH$  similibus & æqualibus, secabit reliqua plana in iisdem angulis in  $p$ ,  $h$ , &c. ac prius in  $P$ ,  $H$ , &c. emergetque tandem eadem obliquitate in  $h$ , qua incidit in  $H$ . Concipe jam planorum  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$ ,  $Dd$ ,  $Ee$ , &c. intervalla in infinitum minui & numerum augeri, eo ut actio attractionis vel impulsus secundum legem quamcunque assignatam continua reddatur; & angulus emergentiae semper angulo incidentiae æqualis existens, eidem etiamnum manebit æqualis.  $Q.E.D.$

## Scholium.

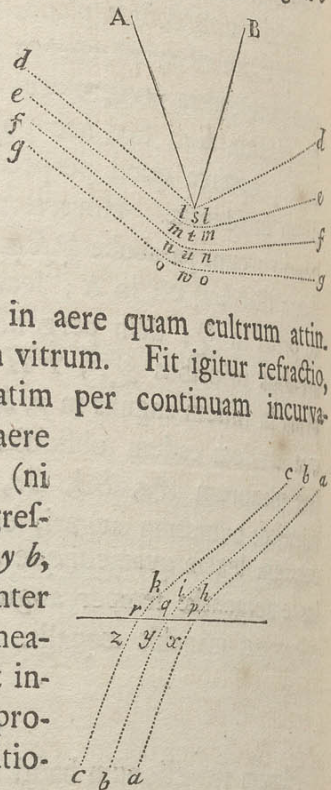
Harum attractionum haud multum dissimiles sunt lucis reflexiones & refractiones, factæ secundum datam secantium rationem, ut invenit Snellius, & per consequens secundum datam sinuum rationem, ut exposuit Cartesius. Namque lucem successive propagari & spatio quasi septem vel octo minutorum primorum a sole ad terram venire, jam constat per phaenomena satellitum Jovis, observationibus diversorum astronomorum confirmata. Radii autem in aëre existentes (uti dudum Grimaldus, luce per foramen in tenebroso cubiculo admissa, invenit, & ipse quoque expertus sum) in transitu suo prope corporum vel opacorum vel perspicuorum angulos (quales sunt nummorum ex auro, argento & aëre cuforum termini

G g

rectanguli



rectanguli circulares, & cultrorum, lapidum aut fractorum vitro-  
rum acies) incurvantur circum corpora, quasi attracti in eadem;  
& ex his radiis, qui in transitu illo propius accedunt ad corpora in-  
servavi. Et qui transeunt ad majores distantias minus incurvantur; &  
ad distantias adhuc majores incurvantur aliquantulum ad partes  
contrarias, & tres colorum fascias efformant. In figura designat  
& *gowog, fnunf, emtme, dlsld*  
sunt radii, arcubus *owo, nun, mtm,*  
*lsl* versus cultrum incurvati; idque  
magis vel minus pro distantia eo-  
rum a cultro. Cum autem talis in-  
curvatio radiorum fiat in aere extra  
cultrum, debebunt etiam radii, qui  
incidunt in cultrum, prius incurvari in aere quam cultrum atin-  
gunt. Et par est ratio incidentium in vitrum. Fit igitur refra-  
ctionem radiorum, factam partim in aere  
antequam attingunt vitrum, partim (ni  
fallor) in vitro, postquam illud ingres-  
si sunt: uti in radiis *ckzc, biyb,*  
*abxa* incidentibus ad *r, q, p,* & inter  
*k & z, i & y, b & x* incurvatis, delineat-  
um est. Igitur ob analogiam quæ est inter  
propagationem radiorum lucis & pro-  
gressum corporum, visum est propositio-  
nes sequentes in usus opticos subungere;  
interea de natura radiorum (utrum sint corpora necne) nihil omni-  
no disputans, sed trajectorys corporum trajectorys radiorum per-  
similes solummodo determinans.

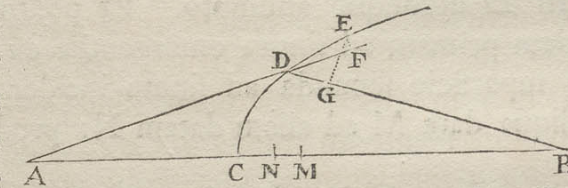


PROPO.

## PROPOSITIO XCVII. PROBLEMA XLVII.

Posito quod sinus incidentiæ in superficiem aliquam sit ad sinum  
emergentiæ in data ratione; quodque incurvatio viæ corpo-  
rum juxta superficiem illam fiat in spatio brevissimo, quod  
ut punctum considerari possit: determinare superficiem, quæ  
corpuscula omnia de loco dato successive manantia conver-  
gere faciat ad alium locum datum.

Sit *A* locus a quo corpuscula divergunt; *B* locus in quem con-  
vergere debent; *CDE* curva linea quæ circa axem *AB* revoluta  
describat superficiem quæsitam; *D, E* curvæ illius puncta duo quæ-  
vis; & *EF, EG* perpendicularia in corporis vias *AD, DB* demissa.  
Accedat punctum *D* ad punctum *E*; & lineæ *DF*, quæ *AD* au-  
getur, ad lineam *DG*, quæ *DB* diminuitur, ratio ultima erit ea-  
dem, quæ sinus incidentiæ ad  
sinum emergentiæ. Datur  
ergo ratio incrementi lineæ  
*AD* ad decrementum lineæ  
*DB*; & propterea si in axe  
*AB* sumatur ubivis punctum *C*, per quod curva *CDE* transire de-  
bet, & capiatur ipsius *AC* incrementum *CM* ad ipsius *BC* decre-  
mentum *CN* in data illa ratione, centrisque *A, B*, & intervallis  
*AM, BN* describantur circuli duo se mutuo secantes in *D*; pun-  
ctum illud *D* tanget curvam quæsitam *CDE*, eandemque ubivis  
tangendo determinabit. Q. E. I.



Corol. 1. Faciendo autem ut punctum *A* vel *B* nunc abeat in in-  
finitum, nunc migret ad alteras partes puncti *C*, habebuntur figuræ  
illæ omnes, quas *Cartesius* in optica & geometria ad refractiones  
exposuit. Quarum inventionem cum *Cartesius* celaverit, visum fuit  
hac propositione exponere.

Corol. 2. Si corpus in superficiem quamvis *CD*, secundum line-  
am rectam *AD*, lege quavis ductam incidens, emergat secundum  
aliam quamvis rectam *DK*, & a puncto *C* duci intelligantur lineæ

G g 2

curvæ







DE

MOTU CORPORUM  
LIBER SECUNDUS.

SECTIO I.

*De motu corporum quibus resistitur in ratione velocitatis.*

PROPOSITIO I. THEOREMA I.

*Corporis, cui resistitur in ratione velocitatis, motus ex resistentia amissus est ut spatium movendo confectum.*

**N**AM cum motus singulis temporis particulis æqualibus amissus sit ut velocitas, hoc est, ut itineris confecti particula: erit, componendo, motus toto tempore amissus ut iter totum. *Q. E. D.*

*Corol.* Quare si corpus, gravitate omni destitutum, in spatiis liberis sola vi incitata moveatur; ac detur tum motus totus sub initio, tum etiam motus reliquus post spatium aliquod confectum: dabitur spatium totum quod corpus infinito tempore describere potest. Erit enim spatium illud ad spatium jam descriptum, ut motus totus sub initio ad motus illius partem amissam.

LEMMA I.

*Quantitates differentiis suis proportionales sunt continue proportionales.*

Sit A ad A — B ut B ad B — C & C ad C — D, &c. & conver- tendo fiet A ad B ut B ad C & C ad D, &c. *Q. E. D.*

PROPO.

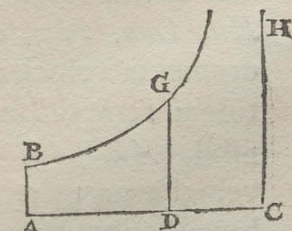
PROPOSITIO II. THEOREMA II.

*Si corpori resistitur in ratione velocitatis, & idem sola vi incitata per medium simile moveatur, sumantur autem tempora æqualia: velocitates in principiis singulorum temporum sunt in progressionem geometricam, & spatia singulis temporibus descripta sunt ut velocitates.*

*Cas. 1.* Dividatur tempus in particulas æquales; & si ipsis particularum initiis agat vis resistentiæ impulsu unico, quæ sit ut velocitas: erit decrementum velocitatis singulis temporis particulis ut eadem velocitas. Sunt ergo velocitates differentiis suis proportionales, & propterea (per lem. 1. lib. 11.) continue proportionales. Proinde si ex æquali particularum numero componantur tempora qualibet æqualia, erunt velocitates ipsis temporum initiis, ut termini in progressionem continua, qui per saltum capiuntur, omisso passim æquali terminorum intermediorum numero. Componuntur autem horum terminorum rationes ex rationibus inter se iisdem terminorum intermediorum æqualiter repetitis, & propterea eæ quoque rationes compositæ inter se eadem sunt. Igitur velocitates, his terminis proportionales, sunt in progressionem geometricam. Minuantur jam æquales illæ temporum particule, & augeatur earum numerus in infinitum, eo ut resistentiæ impulsus reddatur continuus; & velocitates in principiis æqualium temporum, semper continue proportionales, erunt in hoc etiam casu continue proportionales. *Q. E. D.*

*Cas. 2.* Et divisim velocitatum differentiæ, hoc est, earum partes singulis temporibus amissæ, sunt ut totæ: spatia autem singulis temporibus descripta sunt ut velocitatum partes amissæ (per prop. 1. lib. 11.) & propterea etiam ut totæ. *Q. E. D.*

*Corol.* Hinc si asymptotis rectangulis AC, CH describatur hyperbola BG, sintque AB, DG ad asymptoton AC perpendiculares, & exponatur tum corporis velocitas tum resistentia medii, ipso motu initio, per lineam quamvis datam AC, elapso autem tempore aliquo per lineam indefinitam DC: exponi potest tempus per aream ABGD, & spatium eo.





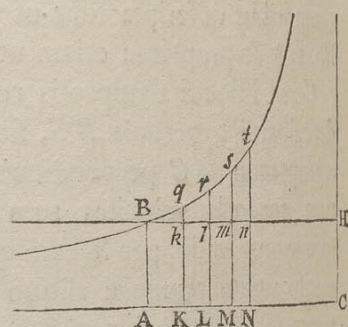
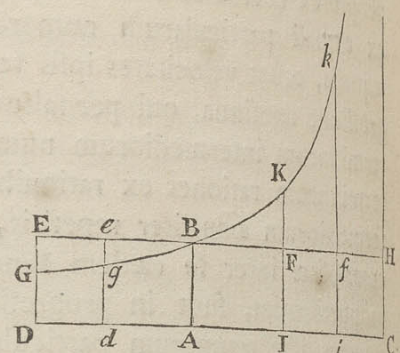
eo tempore descriptum per lineam  $AD$ . Nam si area illa per motum puncti  $D$  augeatur uniformiter ad modum temporis, decrescet recta  $DC$  in ratione geometrica ad modum velocitatis, & partes rectæ  $AC$  æqualibus temporibus descriptæ decrecent in eadem ratione.

PROPOSITIO III. PROBLEMA I.

*Corporis, cui, dum in medio simili recta ascendit vel descendit, resistitur in ratione velocitatis, quodque ab uniformi gravitate urgetur, definire motum.*

Corpore ascendente, exponatur gravitas per datum quodvis rectangulum  $BACH$ , & resistentia medii initio ascensus per rectangulum  $BADE$  sumptum ad contrarias partes rectæ  $AB$ . Asymptotis rectangulis  $AC$ ,  $CH$ , per punctum  $B$  describatur hyperbola secans perpendiculara  $DE$ , de in  $G$ ,  $g$ ; & corpus ascendendo tempore  $DGge$  describet spatium  $EGge$ , tempore  $DGBA$  spatium ascensus totius  $EGB$ ; tempore  $ABKI$  spatium descensus  $BFK$ , atque tempore  $IKki$  spatium descensus  $KFfk$ ; & velocitates corporis (resistentiæ medii proportionales) in horum temporum periodis erunt  $ABED$ ,  $ABed$ , nulla,  $ABFI$ ,  $ABfi$  respective; atque maxima velocitas, quam corpus descendendo potest acquirere, erit  $BACH$ .

Resolvatur enim rectangulum  $BACH$  in rectangula innumera  $Ak$ ,  $Kl$ ,  $Lm$ ,  $Mn$ , &c. quæ sint ut incrementa velocitatum æqualibus totidem temporibus facta; & erunt nihil,  $Ak$ ,  $Al$ ,  $Am$ ,  $An$ , &c. ut velocitates totæ, atque ideo (per hypothesin) ut resistentiæ medii principio singulorum temporum æquali-



um.

um. Fiat  $AC$  ad  $AK$  vel  $ABHC$  ad  $ABkK$  ut vis gravitatis ad resistentiam in principio temporis secundi, deque vi gravitatis subducantur resistentiæ, & manebunt  $ABHC$ ,  $KkHC$ ,  $LlHC$ ,  $MmHC$ , &c. ut vires absolutæ quibus corpus in principio singulorum temporum urgetur, atque ideo (per motus legem II.) ut incrementa velocitatum, id est, ut rectangula  $Ak$ ,  $Kl$ ,  $Lm$ ,  $Mn$ , &c. & propterea (per lem. I. lib. II.) in progressionem geometricam. Quare si rectæ  $Kk$ ,  $Ll$ ,  $Mm$ ,  $Nn$ , &c. productæ occurrant hyperbolæ in  $q$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $t$ , &c. erunt areae  $ABqK$ ,  $KqrL$ ,  $LrsM$ ,  $MstN$ , &c. æquales, ideoque tum temporibus tum viribus gravitatis semper æquales, ideoque tum temporibus tum viribus gravitatis semper æquales analogæ. Est autem area  $ABqK$  (per corol. 3. lem. VII. & lem. VIII. lib. I.) ad aream  $Bkq$  ut  $Kq$  ad  $\frac{1}{2}kq$  seu  $AC$  ad  $\frac{1}{2}AK$ , hoc est, ut vis gravitatis ad resistentiam in medio temporis primi. Et simili argumento areae  $qKLr$ ,  $rLMs$ ,  $sMnt$ , &c. sunt ad areas  $qklr$ ,  $rlms$ ,  $smnt$ , &c. ut vires gravitatis ad resistentias in medio temporis secundi, tertii, quarti, &c. Proinde cum areae æquales  $BAKq$ ,  $qKLr$ ,  $rLMs$ ,  $sMnt$ , &c. sint viribus gravitatis analogæ, erunt areae  $Bkq$ ,  $qklr$ ,  $rlms$ ,  $smnt$ , &c. resistentiis in mediis singulorum temporum, hoc est (per hypothesin) velocitatibus, atque ideo descriptis spatiis analogæ. Sumantur analogarum summæ, & erunt areae  $Bkq$ ,  $Blr$ ,  $Bms$ ,  $Bnt$ , &c. spatiis totis descriptis analogæ; necnon areae  $ABqK$ ,  $ABrL$ ,  $ABsM$ ,  $ABtN$ , &c. temporibus. Corpus igitur inter descendendum, tempore quovis  $ABrL$ , describit spatium  $Blr$ , & tempore  $LrtN$  spatium  $rlnt$ . Q. E. D. Et similis est demonstratio motus expositi in ascensu. Q. E. D.

Corol. I. Igitur velocitas maxima, quam corpus cadendo potest acquirere, est ad velocitatem dato quovis tempore acquisitam, ut vis data gravitatis, qua corpus illud perpetuo urgetur, ad vim resistentiæ, qua in fine temporis illius impeditur.

Corol. 2. Tempore autem aucto in progressionem arithmetica, summa velocitatis illius maximæ ac velocitatis in ascensu, atque etiam earundem differentia in descensu decrescit in progressionem geometricam.

Corol. 3. Sed & differentiæ spatiorum, quæ in æqualibus temporum differentiis describuntur, decrescunt in eadem progressionem geometricam.

H h

Corol.

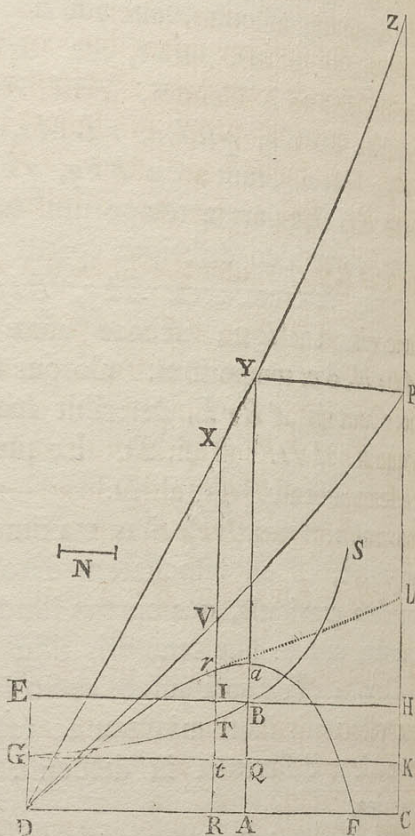


*Corol. 4.* Spatium vero a corpore descriptum differentia est duorum spatiorum, quorum alterum est ut tempus sumptum ab initio descensus, & alterum ut velocitas, quæ etiam ipso descensus initio æquantur inter se.

## PROPOSITIO IV. PROBLEMA II.

*Posito quod vis gravitatis in medio aliquo simili uniformi sit, ac tendat perpendiculariter ad planum horizontis; definire motum projectilis in eodem, resistantiam velocitati proportionalem patientis.*

E loco quovis  $D$  egrediatur projectile secundum lineam quamvis rectam  $DP$ , & per longitudinem  $DP$  exponatur ejusdem velocitas sub initio motus. A puncto  $P$  ad lineam horizontalem  $DC$  demittatur perpendicularum  $PC$ , & secetur  $DC$  in  $A$ , ut sit  $DA$  ad  $AC$  ut resistantia medii, ex motu in altitudinem sub initio orta, ad vim gravitatis; vel (quod perinde est) ut sit rectangulum sub  $DA$  &  $DP$  ad rectangulum sub  $AC$  &  $CP$  ut resistantia tota sub initio motus ad vim gravitatis. Asymptotis  $DC$ ,  $CP$  describatur hyperbola quævis  $GTBS$  secans perpendiculara  $DG$ ,  $AB$  in  $G$  &  $B$ ; & compleatur parallelogrammum  $DGKC$ , cujus latus  $GK$  secet  $AB$  in  $Q$ . Capiatur linea  $N$  in ratione ad  $QB$  qua  $DC$  sit ad  $CP$ ; & ad rectam  $DC$  punctum quodvis  $R$  erecto perpendicularo  $RT$ , quod hyperbolæ in  $T$ , & rectis  $EH$ ,  $GK$ ,  $DP$  in  $I$ ,  $t$  &  $V$  occurrat; in eo cape  $Vr$  æqualem  $tGT$ ,



$tGT$ , vel quod perinde est, cape  $Rr$  æqualem  $\frac{GTIE}{N}$ ; & projec-  
tile tempore  $DRTG$  perveniet ad punctum  $r$ , describens curvam  
lineam  $DraF$ , quam punctum  $r$  semper tangit, perveniens autem  
ad maximam altitudinem  $a$  in perpendicularo  $AB$ , & postea semper  
appropinquans ad asymptoton  $PC$ . Estque velocitas ejus in puncto  
quovis  $r$  ut curvæ tangens  $rL$ . *Q. E. I.*

Est enim  $N$  ad  $QB$  ut  $DC$  ad  $CP$  seu  $DR$  ad  $RV$ , ideoque  $RV$   
æqualis  $\frac{DR \times QB}{N}$ , &  $Rr$  (id est  $RV - Vr$  seu  $\frac{DR \times QB - tGT}{N}$ )  
æqualis  $\frac{DR \times AB - RDGT}{N}$ . Exponatur jam tempus per aream

$RDGT$ , & (per legem corol. 2.) distinguatur motus corporis in  
duos, unum ascensus, alterum ad latus. Et cum resistantia sit ut  
motus, distinguetur etiam hæc in partes duas partibus motus pro-  
portionales & contrarias: ideoque longitudo, a motu ad latus de-  
scripta, erit (per prop. 11. hujus) ut linea  $DR$ , altitudo vero (per  
prop. 111. hujus) ut area  $DR \times AB - RDGT$ , hoc est, ut  
linea  $Rr$ . Ipso autem motus initio area  $RDGT$  æqualis est rectan-  
gulo  $DR \times AQ$ , ideoque linea illa  $Rr$  (seu  $\frac{DR \times AB - DR \times AQ}{N}$ )

tunc est ad  $DR$  ut  $AB - AQ$  seu  $QB$  ad  $N$ , id est, ut  $CP$  ad  $DC$ ;  
atque ideo ut motus in altitudinem ad motum in longitudinem sub ini-  
tio. Cum igitur  $Rr$  semper sit ut altitudo, ac  $DR$  semper ut longitudo,  
atque  $Rr$  ad  $DR$  sub initio ut altitudo ad longitudinem: necesse est ut  
 $Rr$  semper sit ad  $DR$  ut altitudo ad longitudinem, & propterea ut corpus  
moveatur in linea  $DraF$ , quam punctum  $r$  perpetuo tangit. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Est igitur  $Rr$  æqualis  $\frac{DR \times AB}{N} - \frac{RDGT}{N}$ : ideoque

si producat  $RT$  ad  $X$  ut sit  $RX$  æqualis  $\frac{DR \times AB}{N}$ ; id est, si  
compleatur parallelogrammum  $ACPT$ , jungatur  $DT$  secans  $CP$   
in  $Z$ , & producat  $RT$  donec occurrat  $DT$  in  $X$ ; erit  $Xr$  æ-  
qualis  $\frac{RDGT}{N}$ , & propterea tempori proportionalis.

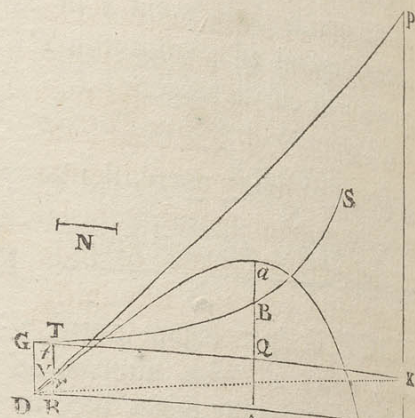
*Corol. 2.* Unde si capiantur innumeræ  $CR$ , vel, quod perinde est,  
innumeræ  $ZX$  in progressionem geometricam; erunt totidem  $Xr$  in  
H h 2 progres-



progressione arithmetica. Et hinc curva  $DraF$  per tabulam logarithmorum facile delineatur.

*Corol. 3.* Si vertice  $D$ , diametro  $DG$  deorsum producta, & latere recto quod sit ad  $2DP$  ut resistentia tota ipso motus initio ad vim gravitatis, parabola construat: velocitas quacum corpus exire debet de loco  $D$  secundum rectam  $DP$ , ut in medio uniformi resistente describat curvam  $DraF$ , ea ipsa erit quacum exire debet de eodem loco  $D$ , secundum eandem rectam  $DP$ , ut in spatio non resistente describat parabolam. Nam latus rectum parabolæ hujus, ipso motus initio, est  $\frac{DV \text{ quad.}}{Vr}$ ; &  $Vr$  est  $\frac{tGT}{N}$  seu  $\frac{DR \times Tt}{2N}$ . Recta autem quæ, si duceretur, hyperbolam  $GTS$  tangeret in  $G$ , parallela est ipsi  $DK$ , ideoque  $Tt$  est  $\frac{CK \times DR}{DC}$ , &  $N$  erat  $\frac{QB \times DC}{CP}$ . Et propterea  $Vr$  est  $\frac{DRq \times CK \times CP}{2DCq \times QB}$ , id est (ob proportionales  $DR$  &  $DC$ ,  $DV$  &  $DP$ )  $\frac{DVq \times CK \times CP}{2DPq \times QB}$ , & latus rectum  $\frac{DV \text{ quad.}}{Vr}$  prodit  $\frac{2DPq \times QB}{CK \times CP}$ , id est (ob proportionales  $QB$  &  $CK$ ,  $DA$  &  $AC$ )  $\frac{2DPq \times DA}{AC \times CP}$ , ideoque ad  $2DP$ , ut  $DP \times DA$  ad  $CP \times AC$ ; hoc est, ut resistentia ad gravitatem. *Q. E. D.*

*Corol. 4.* Unde si corpus de loco quovis  $D$ , data cum velocitate, secundum rectam quamvis positione datam  $DP$  projiciatur; & resistentia medii ipso motus initio detur: inveniri potest curva  $DraF$ , quam corpus idem describet. Nam ex data velocitate datur latus rectum parabolæ, ut notum est. Et sumendo  $2DP$  ad latus illud rectum, ut est vis gravitatis ad vim resistentiæ, datur  $DP$ . Dein

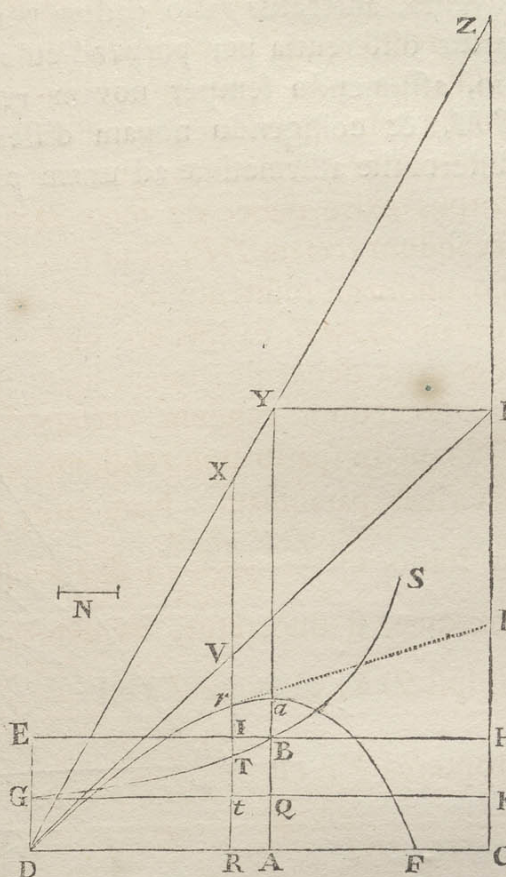


secundo  $DC$  in  $A$ , ut sit  $CP \times AC$  ad  $DP \times DA$  in eadem illa ratione gravitatis ad resistentiam, dabitur punctum  $A$ . Et inde datur curva  $DraF$ .

*Corol. 5.* Et contra, si datur curva  $DraF$ , dabitur & velocitas corporis & resistentia medii in locis singulis  $r$ . Nam ex data ratione  $CP \times AC$  ad  $DP \times DA$ , datur tum resistentia medii sub initio motus, tum latus rectum parabolæ: & inde datur etiam velocitas sub initio motus. Deinde ex longitudine tangentis  $rL$ , datur & huic proportionalis velocitas, & velocitati proportionalis resistentia in loco quovis  $r$ .

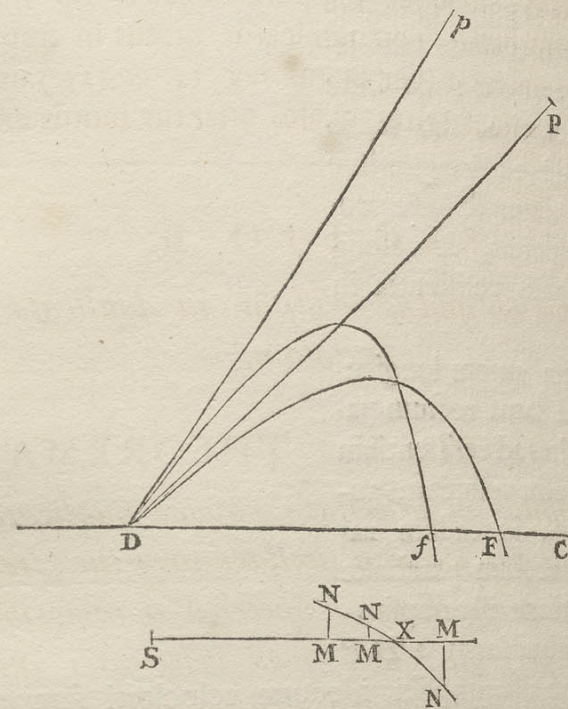
*Corol. 6.* Cum autem longitudine  $2DP$  sit ad latus rectum parabolæ ut gravitas ad resistentiam in  $D$ ; & ex aucta velocitate augetur resistentia in eadem ratione, at latus rectum parabolæ augetur in ratione illa duplicata: patet longitudinem  $2DP$  augeri in ratione illa simplici, ideoque velocitati semper proportionalem esse, neque ex angulo  $CDP$  mutato augeri vel minui, nisi mutetur quoque velocitas.

*Corol. 7.* Unde liquet methodus determinandi curvam  $DraF$  ex phaenomenis quamproxime, & inde colligendi resistentiam & velocitatem quacum corpus projicitur. Projiciantur corpora duo similia & æqualia eadem cum velocitate, de loco  $D$ , secundum angulos diversos  $CDP$ ,  $CDp$  & cognoscantur loca  $F$ ,  $f$ , ubi incidunt in horizontale planum  $DC$ . Tum, assumpta quacunque longitudine pro  $DP$  vel  $Dp$ , fingatur quod resistentia in  $D$  sit ad gravitatem in ratione qualibet, & exponatur ratio illa per longitudinem quamvis  $SM$ . Deinde





Deinde per computationem, ex longitudine illa assumpta  $DP$ , inveniuntur longitudines  $DF$ ,  $Df$ , ac de ratione  $\frac{Ff}{DF}$  per calculum inventa, auferatur ratio eadem per experimentum inventa, & expōnatur differentia per perpendicularum  $MN$ . Idem fac iterum ac tertio, assumendo semper novam resistentiæ ad gravitatem rationem  $SM$ , & colligendo novam differentiam  $MN$ . Ducantur autem differentię affirmativæ ad unam partem rectæ  $SM$ , & negativæ ad



alteram; & per puncta  $N, N, N$  agatur curva regularis  $NNN$  secans rectam  $SM$  in  $X$ , & erit  $SX$  vera ratio resistentiæ ad gravitatem, quam invenire oportuit. Ex hac ratione colligenda est longitudo  $DF$  per calculum; & longitudo, quæ sit ad assumptam longitudinem  $DP$ , ut longitudo  $DF$  per experimentum cognita ad longitudinem  $DF$  modo inventam, erit vera longitudo  $DP$ . Qua inventa, habetur tum curva linea  $DraF$  quam corpus describit, tum corporis velocitas & resistentia in locis singulis.

*Scholium.*

*Scholium.*

Cæterum, resistentiam corporum esse in ratione velocitatis, hypothesis est magis mathematica quam naturalis. In mediis, quæ rigore omni vacant, resistentiæ corporum sunt in duplicata ratione velocitatum. Etenim actione corporis velocioris communicatur eidem medii quantitati, tempore minore, motus major in ratione majoris velocitatis; ideoque tempore æquali, ob majorem medii quantitatem perturbatam, communicatur motus in duplicata ratione major; estque resistentia (per motus leg. II. & III.) ut motus communicatus. Videamus igitur quales oriantur motus ex hac lege resistentiæ.

## SECTIO II.

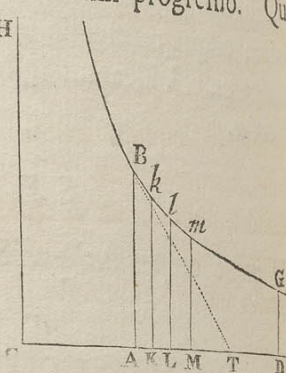
*De motu corporum quibus resistitur in duplicata ratione velocitatum.*

### PROPOSITIO V. THEOREMA III.

*Si corpori resistitur in velocitatis ratione duplicata, & idem sola vi insita per medium simile movetur; tempora vero sumantur in progressionē geometrica a minoribus terminis ad majores pergente: dico quod velocitates initio singulorum temporum sunt in eadem progressionē geometrica inverse; & quod spatia sunt æqualia, quæ singulis temporibus describuntur.*

Nam quoniam quadrato velocitatis proportionalis est resistentia medii, & resistentiæ proportionale est decrementum velocitatis; si tempus in particulas innumeras æquales dividatur, quadrata velocitatum singulis temporum initiis erunt velocitatum earundem differentiis proportionalia. Sunt temporis particule illæ  $AK, KL, LM$ , &c. in recta  $CD$  sumptæ, & erigantur perpendiculara  $AB, Kk$ ,



$Kk, Ll, Mm$ , &c. hyperbolæ  $BklmG$ , centro  $C$  asymptotis re-  
ctangulis  $CD, CH$  descriptæ, occurrentia in  $B, k, l, m$ , &c. & erit  
 $AB$  ad  $Kk$  ut  $CK$  ad  $CA$ , & divisim  $AB - Kk$  ad  $Kk$  ut  $AK$  ad  
 $CA$ , & vicissim  $AB - Kk$  ad  $AK$  ut  $Kk$  ad  $CA$ , ideoque ut  $AB$   
 $\times Kk$  ad  $AB \times CA$ . Unde, cum  $AK$  &  $AB \times CA$  dentur, erit  $AB$   
 $- Kk$  ut  $AB \times Kk$ ; & ultimo, ubi coeunt  $AB$  &  $Kk$ , ut  $ABq$ . Et  
simili argumento erunt  $Kk - Ll, Ll - Mm$ , &c. ut  $Kk$  quad.  $Ll$  quad.  
&c. Linearum igitur  $AB, Kk, Ll, Mm$  quadrata sunt ut earun-  
dem differentiarum; & idcirco cum quadrata velocitatum fuerint eti-  
am ut ipsarum differentiarum, similis erit ambarum progressio. Quo  
demonstrato, consequens est etiam ut  


*Corol. 1.* Patet ergo quod, si tempus exponatur per asymptoti  
partem quamvis  $AD$ , & velocitas in principio temporis per ordi-  
natam applicatam  $AB$ ; velocitas in fine temporis exponatur per  
ordinatam  $DG$ , & spatium totum descriptum per aream hyperbo-  
licam adjacentem  $ABGD$ ; necnon spatium, quod corpus aliquod  
eodem tempore  $AD$ , velocitate prima  $AB$ , in medio non resistan-  
te describere posset, per rectangulum  $AB \times AD$ .

*Corol. 2.* Unde datur spatium in medio resistente descriptum, ca-  
piendo illud ad spatium quod velocitate uniformi  $AB$  in medio  
non

non resistente simul describi posset, ut est area hyperbolica  $ABGD$   
ad rectangulum  $AB \times AD$ .

*Corol. 3.* Datur etiam resistentia medii, statuendo eam ipso mo-  
tus initio æqualem esse vi uniformi centripetæ, quæ in cadente  
corpore, tempore  $AC$ , in medio non resistente, generare posset ve-  
locitatem  $AB$ . Nam si ducatur  $BT$  quæ tangat hyperbolam in  $B$ ,  
& occurrat asymptoto in  $T$ ; recta  $AT$  æqualis erit ipsi  $AC$ , & tem-  
pus exponet, quo resistentia prima uniformiter continuata tollere  
posset velocitatem totam  $AB$ .

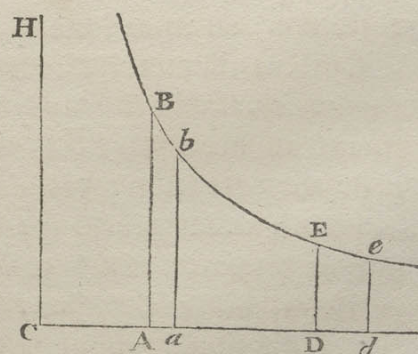
*Corol. 4.* Et inde datur etiam proportio hujus resistentiæ ad vim  
gravitatis, aliamve quamvis datam vim centripetam.

*Corol. 5.* Et vice versa, si datur proportio resistentiæ ad datam  
quamvis vim centripetam; datur tempus  $AC$ , quo vis centripeta  
resistentiæ æqualis generare possit velocitatem quamvis  $AB$ ; &  
inde datur punctum  $B$  per quod hyperbola, asymptotis  $CH, CD$ ,  
describi debet; ut & spatium  $ABGD$ , quod corpus incipiendo  
motum suum cum velocitate illa  $AB$ , tempore quovis  $AD$ , in  
medio similari resistente describere potest.

## PROPOSITIO VI. THEOREMA IV.

*Corpora spherica homogenea & æqualia, resistentiis in du-  
plicata ratione velocitatum impedita, & solis viribus insitis  
incitata, temporibus, quæ sunt reciproce ut velocitates sub  
initio, describunt semper æqualia spatia, & amittunt par-  
tes velocitatum proportionales totis.*

Asymptotis rectangulis  $CD, CH$   
descripta hyperbola quavis  $BbEe$  se-  
cante perpendicula  $AB, ab, DE, de$ ,  
in  $B, b, E, e$ , exponantur velocitates  
initiales per perpendicula  $AB, DE$ , &  
tempora per lineas  $Aa, Dd$ . Est ergo  
ut  $Aa$  ad  $Dd$  ita (per hypothesin)  $DE$   
ad  $AB$ , & ita (ex natura hyperbolæ)  
 $Ca$  ad  $Cd$ ; & componendo, ita  $Ca$   
ad  $Cd$ . Ergo area  $ABba, DEed$ , hoc est, spatia descripta æquan-  
tur





tur inter se, & velocitates primæ  $AB$ ,  $DE$  sunt ultimis  $ab$ ,  $de$ , & propterea dividendo partibus etiam suis amissis  $AB-ab$ ,  $DE-de$  proportionales.  $Q. E. D.$

## PROPOSITIO VII. THEOREMA V.

*Corpora spherica quibus resistitur in duplicata ratione velocitatum, temporibus, quæ sunt ut motus primi directe & resistentiæ primæ inverse, amittent partes motuum proportionales totis, & spatia describent temporibus istis & velocitatibus primis conjunctim proportionalia.*

Namque motuum partes amissæ sunt ut resistentiæ & tempora conjunctim. Igitur ut partes illæ sint totis proportionales, debet resistentia & tempus conjunctim esse ut motus. Proinde tempus erit ut motus directe & resistentia inverse. Quare temporum particulis in ea ratione sumptis, corpora amittent semper particulas motuum proportionales totis, ideoque retinebunt velocitates velocitatibus suis primis semper proportionales. Et ob datam velocitatum rationem, describent semper spatia, quæ sunt ut velocitates primæ & tempora conjunctim.  $Q. E. D.$

*Corol. 1.* Igitur si æquivelocibus corporibus resistitur in duplicata ratione diametrorum: globi homogenei quibuscunque cum velocitatibus moti, describendo spatia diametris suis proportionalia, amittent partes motuum proportionales totis. Motus enim globi conjunctus erit ut ejus velocitas & massa conjunctim, id est, ut velocitas & cubus diametri; resistentia (per hypothesin) erit ut quadratum diametri & quadratum velocitatis conjunctim; & tempus (per hanc propositionem) est in ratione priore directe & ratione posteriore inverse, id est, ut diameter directe & velocitas inverse; ideoque spatium, tempori & velocitati proportionale, est ut diameter.

*Corol. 2.* Si æquivelocibus corporibus resistitur in ratione sesquuplicata diametrorum: globi homogenei quibuscunque cum velocitatibus moti, describendo spatia in sesquuplicata ratione diametrorum, amittent partes motuum proportionales totis.

*Corol. 3.* Et universaliter, si æquivelocibus corporibus resistitur in ratione dignitatis cujuscunque diametrorum: spatia quibus globi homogenei, quibuscunque cum velocitatibus moti, amittent partes

motuum

motuum proportionales totis, erunt ut cubi diametrorum ad dignitatem illam applicati. Sinto diametri  $D$  &  $E$ ; & si resistentiæ, ubi velocitates æquales ponuntur, sint ut  $D^n$  &  $E^n$ : spatia quibus globi, quibuscunque cum velocitatibus moti, amittent partes motuum proportionales totis, erunt ut  $D^{1-n}$  &  $E^{1-n}$ . Et propterea globi homogenei describendo spatia ipsis  $D^{1-n}$  &  $E^{1-n}$  proportionalia, retinebunt velocitates in eadem ratione ad invicem ac sub initio.

*Corol. 4.* Quod si globi non sint homogenei, spatium a globo densiore descriptum augeri debet in ratione densitatis. Motus enim, sub pari velocitate, major est in ratione densitatis, & tempus (per hanc propositionem) augetur in ratione motus directe, ac spatium descriptum in ratione temporis.

*Corol. 5.* Et si globi moveantur in mediis diversis; spatium in medio, quod cæteris paribus magis resistit, diminuendum erit in ratione majoris resistentiæ. Tempus enim (per hanc propositionem) diminuetur in ratione resistentiæ auctæ, & spatium in ratione temporis.

## LEMMA II.

*Momentum genitæ æquatur momenti laterum singulorum generantium in eorundem laterum indices dignitatum & coefficientia continue ductis.*

Genitam voco quantitatem omnem, quæ ex lateribus vel terminis quibuscunque in arithmetica per multiplicationem, divisionem, & extractionem radicum; in geometria per inventionem vel contentorum & laterum, vel extremarum & mediarum proportionalium, sine additione & subtractione generatur. Ejusmodi quantitates sunt facti, quoti, radices, rectangula, quadrata, cubi, latera quadrata, latera cubica, & similes. Has quantitates, ut indeterminatas & instabiles, & quasi motu fluxuve perpetuo crescentes vel decrescen-tes, hic considero; & earum incrementa vel decrementa momentanea sub nomine momentorum intelligo: ita ut incrementa pro momentis additiis seu affirmativis, ac decrementa pro subductiis seu negativis habeantur. Cave tamen intellexeris particulas finitas. Particulæ finitæ non sunt momenta, sed quantitates ipsæ ex momentis genitæ. Intelligenda sunt principia jamjam nascentia finita.

I 2

rum



rum magnitudinum. Neque enim spectatur in hoc lemmate magnitudo momentorum, sed prima nascentium proportio. Eodem recidit si loco momentorum usurpentur vel velocitates incrementorum ac decrementorum (quas etiam motus, mutationes & fluxiones quantitatum nominare licet) vel finitæ quævis quantitates velocitatis hisce proportionales. Lateris autem cujusque generantis efficiens est quantitas, quæ oritur applicando genitam ad hoc latus.

Igitur sensus lemmatis est, ut, si quantitatum quarumcunque perpetuo motu crescentium vel decrescientium A, B, C, &c. momenta, vel his proportionales mutationum velocitates dicantur  $a, b, c$ , &c. momentum vel mutatio geniti rectanguli AB fuerit  $aB + bA$ , & geniti contenti ABC momentum fuerit  $aBC + bAC + cAB$ : & genitarum dignitatum  $A^2, A^3, A^4, A^{\frac{1}{2}}, A^{\frac{1}{3}}, A^{\frac{1}{4}}, A^{-1}, A^{-2}, A^{-3}$  momenta

$2aA, 3aA^2, 4aA^3, \frac{1}{2}aA^{-\frac{1}{2}}, \frac{1}{3}aA^{-\frac{1}{3}}, \frac{1}{4}aA^{-\frac{1}{4}}, -aA^{-1}, -2aA^{-2}, \& -\frac{1}{3}aA^{-3}$  respective. Et generaliter, ut dignitatis

cujuscunque  $A^{\frac{n}{m}}$  momentum fuerit  $\frac{n}{m} a A^{\frac{n-m}{m}}$ . Item ut genitæ

$A^2B$  momentum fuerit  $2aAB + bA^2$ ; & genitæ  $A^3B^2C$  momentum  $3aA^2B^2C + 4bA^3B^2C + 2cA^3B^2C$ ; & genitæ  $\frac{A^1}{B^1}$  live

$A^1B^{-2}$  momentum  $3aA^2B^{-2} - 2bA^1B^{-3}$ : & sic in cæteris. Demonstratur vero lemma in hunc modum.

*Cas. 1.* Rectangulum quodvis motu perpetuo auctum AB, ubi de lateribus A & B deerant momentorum dimidia  $\frac{1}{2}a$  &  $\frac{1}{2}b$ , fuit  $A - \frac{1}{2}a$  in  $B - \frac{1}{2}b$ , seu  $AB - \frac{1}{2}aB - \frac{1}{2}bA + \frac{1}{4}ab$ ; & quam primum latera A & B alteris momentorum dimidiis aucta sunt, evadit  $A + \frac{1}{2}a$  in  $B + \frac{1}{2}b$  seu  $AB + \frac{1}{2}aB + \frac{1}{2}bA + \frac{1}{4}ab$ . De hoc rectangulo subducatur rectangulum prius, & manebit excessus  $aB + bA$ . Igitur laterum incrementis totis  $a$  &  $b$  generatur rectanguli incrementum  $aB + bA$ . *Q. E. D.*

*Cas. 2.* Ponatur AB semper æquale G, & contenti ABC seu GC momentum (per cas. 1.) erit  $gC + cG$ , id est (si pro G & g scribantur AB &  $aB + bA$ )  $aBC + bAC + cAB$ . Et par est ratio contenti sub lateribus quocunque. *Q. E. D.*

*Cas.*

*Cas. 3.* Ponantur latera A, B, C sibi mutuo semper æqualia; & ipsius  $A^2$ , id est rectanguli AB, momentum  $aB + bA$  erit  $2aA$ , ipsius autem  $A^3$ , id est contenti ABC, momentum  $aBC + bAC + cAB$  erit  $3aA^2$ . Et eodem argumento momentum dignitatis cujuscunque  $A^n$  est  $naA^{n-1}$ . *Q. E. D.*

*Cas. 4.* Unde cum  $\frac{1}{A}$  in A sit 1, momentum ipsius  $\frac{1}{A}$  ductum in A, una cum  $\frac{1}{A}$  ducto in a erit momentum ipsius 1, id est, nihil.

Proinde momentum ipsius  $\frac{1}{A}$  seu ipsius  $A^{-1}$  est  $-\frac{a}{A^2}$ . Et generaliter

cum  $\frac{1}{A^n}$  in  $A^n$  sit 1, momentum ipsius  $\frac{1}{A^n}$  ductum in  $A^n$  una cum

$\frac{1}{A^n}$  in  $naA^{n-1}$  erit nihil. Et propterea momentum ipsius  $\frac{1}{A^n}$  seu

$A^{-n}$  erit  $-\frac{na}{A^{n+1}}$ . *Q. E. D.*

*Cas. 5.* Et cum  $A^{\frac{1}{2}}$  in  $A^{\frac{1}{2}}$  sit A, momentum ipsius  $A^{\frac{1}{2}}$  ductum in  $2A^{\frac{1}{2}}$  erit a, per cas. 3: ideoque momentum ipsius  $A^{\frac{1}{2}}$  erit  $\frac{a}{2A^{\frac{1}{2}}}$

five  $\frac{1}{2}aA^{-\frac{1}{2}}$ . Et generaliter si ponatur  $A^{\frac{m}{n}}$  æquale B, erit  $A^m$  æquale  $B^n$ , ideoque  $maA^{m-1}$  æquale  $nbB^{n-1}$ , &  $maA^{m-1}$  æquale

$nbB^{n-1}$  seu  $nbA^{\frac{m(n-1)}{n}}$ , ideoque  $\frac{m}{n}aA^{\frac{m-n}{n}}$  æquale b, id est, æquale

momento ipsius  $A^{\frac{m-n}{n}}$ . *Q. E. D.*

*Cas. 6.* Igitur genitæ cujuscunque  $A^mB^n$  momentum est momentum ipsius  $A^m$  ductum in  $B^n$ , una cum momento ipsius  $B^n$  ducto in  $A^m$ , id est  $maA^{m-1}B^n + nbB^{n-1}A^m$ ; idque five dignitatum indices m & n sint integri numeri vel fracti, five affirmativi vel negativi. Et par est ratio contenti sub pluribus dignitatibus. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc in continue proportionalibus, si terminus unus datur, momenta terminorum reliquorum erunt ut iidem termini multiplicati



cati per numerum intervallorum inter ipsos & terminum datum. Sinto A, B, C, D, E, F continue proportionales; & si detur terminus C, momenta reliquorum terminorum erunt inter se ut — 2 A — B, D, 2 E, 3 F.

*Corol. 2.* Et si in quatuor proportionalibus duæ mediæ dentur momenta extremarum erunt ut eadem extremæ. Idem intelligendum est de lateribus rectanguli cujuscunque dati.

*Corol. 3.* Et si summa vel differentia duorum quadratorum detur, momenta laterum erunt reciproce ut latera.

## Scholium.

In epistola quadam ad D. J. Collinium nostratem 10 Decem. 1672 data, cum descripsissem methodum tangentium quam suspicabar eandem esse cum methodo Slusii tum nondum communicata; subjunxi: Hoc est unum particulare vel corollarium potius methodi generalis, quæ extendit se citra molestum ullum calculum, non modo ad ducendum tangentes ad quasvis curvas sive geometricas sive mechanicas vel quomodocunque rectas lineas aliasve curvas respicientes, verum etiam ad resolvendum alia abstrusiora problematum genera de curvitatibus, arcibus, longitudinibus, centrīs gravitatis curvarum &c. neque (quemadmodum Huddenii methodus de maximis & minimis) ad solas restringitur æquationes illas quæ quantitibus surdis sunt immunes. Hanc methodum intextui alteri isti qua æquationum exegesis insituo reducendo eas ad series infinitas. Hactenus epistola. Et hæc ultima verba spectant ad tractatum quem anno 1671 de his rebus scripseram. Methodi vero hujus generalis fundamentum continetur in lemmate præcedente.

## PROPOSITIO VIII. THEOREMA VI.

Si corpus in medio uniformi, gravitate uniformiter agente, recta ascendat vel descendat, & spatium totum descriptum distinguatur in partes æquales, inque principiis singularum partium (addendo resistentiam medii ad vim gravitatis, quando corpus ascendit, vel subducendo ipsam quando cor-

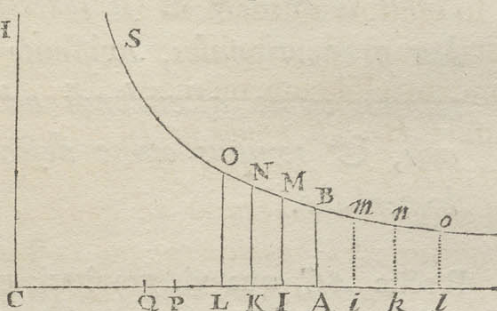
pus

pus descendit) intelliguntur vires absolutæ; dico quod vires absolutæ sunt in progressionē geometrica.

Exponatur enim vis gravitatis per datam lineam AC; resistentia per lineam indefinitam AK; vis absoluta in descensu corporis per differentiam KC; velocitas corporis per lineam AP, quæ sit media proportionalis inter AK & AC, ideoque in subduplicata ratione resistentiæ; incrementum resistentiæ data temporis particula factum per lineolam KL, & contemporaneum velocitatis incrementum per lineolam PQ; & centro C asymptotis rectangulis CA, CH describatur hyperbola quævis BNS, erectis perpendicularibus AB, KN, LO occurrens in B, N, O. Quoniam AK est ut AP q, erit hujus momentum KL ut illius momentum 2APQ: id est, ut AP in KC; nam velocitatis incrementum PQ (per motus leg. II.) proportionale est vi generanti KC. Componatur ratio ipsius KL cum ratione ipsius KN, & fiet rectangulum KL × KN ut AP × KC × KN; hoc est, ob datum rectangulum KC × KN, ut AP.

Aqui area hyperbolice KNOL ad rectangulum KL × KN ratio ultima, ubi coeunt puncta K & L, est æqualitatis. Ergo area illa hyperbolica evanescens est ut AP. Componitur igitur area tota hyperbolica ABOL ex particulis KNOL velocitati AP semper proportionalibus, & propterea spatio velocitate ista descripto proportionalis est. Dividatur jam area illa in partes æquales ABMI, IMNK, KNOL, &c. & vires absolutæ AC, IC, KC, LC, &c. erunt in progressionē geometrica. Q. E. D. Et simili argumento, in ascensu corporis, sumendo, ad contrariam partem puncti A, æquales areas ABmi, imnk, knol, &c. constabit quod vires absolutæ AC, IC, KC, LC, &c. sunt continue proportionales. Ideoque si spatia omnia in ascensu & descensu capiantur æqualia; omnes vires absolutæ IC, KC, IC, AC, IC, KC, LC, &c. erunt continue proportionales. Q. E. D.

*Corol. 1.* Hinc si spatium descriptum exponatur per aream hyperbolicam ABNK; exponi possunt vis gravitatis, velocitas corporis & re-









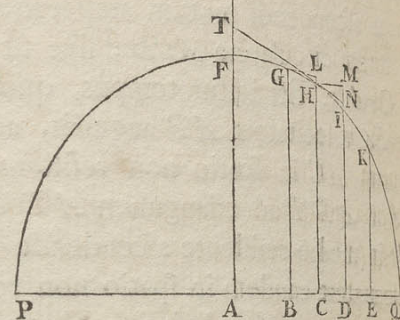




PROPOSITIO X. PROBLEMA III.

*Tendat uniformis vis gravitatis directe ad planum horizonis, sitque resistentia ut medii densitas & quadratum velocitatis conjunctim: requiruntur tum medii densitas in locis singulis, quæ faciat ut corpus in data quavis linea curva moveatur; tum corporis velocitas & medii resistentia in locis singulis.*

Sit  $PQ$  planum illud plano schematis perpendiculare;  $PFHQ$  linea curva plano huic occurrens in punctis  $P$  &  $Q$ ;  $G, H, I, K$  loca quatuor corporis in hac curva ab  $F$  ad  $Q$  pergentis; &  $GB, HC, ID, KE$  ordinatæ quatuor parallelæ ab his punctis ad horizontem demissæ, & lineæ horizontali  $PQ$  ad puncta  $B, C, D, E$  insistentes; & sint  $BC, CD, DE$  distantiae ordinarum inter se æquales. A punctis  $G$  &  $H$  ducantur rectæ  $GL, HN$  curvam tangentes in  $G$  &  $H$ , & ordinatis  $CH, DI$  sursum productis occurrentes in  $L$  &  $N$ , & compleatur parallelogrammum  $HC, DM$ . Et tempora, quibus corpus describit arcus  $GH, HI$ , erunt in subduplicata ratione altitudinum  $LH, NI$ , quas corpus temporibus illis describere posset, a tangentibus cadendo; & velocitates erunt ut longitudines descriptæ  $GH, HI$  directe & tempora inverse. Exponantur tempora per  $T$  &  $t$ , & velocitates per  $\frac{GH}{T}$  &  $\frac{HI}{t}$ ; & decrementum velocitatis tempore  $t$  factum exponetur per  $\frac{GH}{T} - \frac{HI}{t}$ . Hoc decrementum oritur a resistentia corpus retardante, & gravitate corpus accelerante. Gravitatis, in corpore cadente & spatium  $NI$  cadendo describente, generat velocitatem, qua duplum illud spatium eodem tempore describi potuisset, ut *Galileus* demonstravit; id est, velocitatem  $\frac{2NI}{t}$ : at in corpore arcum  $HI$  describente, auget arcum illum



sola longitudine  $HI - HN$  seu  $\frac{MI \times NI}{HI}$ ; ideoque generat tan-

tum velocitatem  $\frac{2MI \times NI}{t \times HI}$ . Addatur hæc velocitas ad decrementum prædictum, & habebitur decrementum velocitatis ex resistentia sola oriundum, nempe  $\frac{GH}{T} - \frac{HI}{t} + \frac{2MI \times NI}{t \times HI}$ . Proindeque cum gravitas eodem tempore in corpore cadente generet velocitatem  $\frac{2NI}{t}$ ; resistentia erit ad gravitatem ut  $\frac{GH}{T} - \frac{HI}{t} + \frac{2MI \times NI}{t \times HI}$  ad  $\frac{2NI}{t}$ , five ut  $\frac{t \times GH}{T} - HI + \frac{2MI \times NI}{HI}$  ad  $2NI$ .

Jam pro abscissis  $CB, CD, CE$  scribantur  $0, 0, 20$ . Pro ordinata  $CH$  scribatur  $P$ , & pro  $MI$  scribatur series quælibet  $Q0 + R00 + S0^3 + \&c.$  Et seriei termini omnes post primum, nempe  $R00 + S0^3 + \&c.$  erunt  $NI$ , & ordinatæ  $DI, EK$ , &  $BG$  erunt  $P - Q0 - R00 - S0^3 - \&c.$   $P - 2Q0 - 4R00 - 8S0^3 - \&c.$  &  $P + Q0 - R00 + S0^3 - \&c.$  respectivè. Et quadrando differentias ordinarum  $BG - CH$  &  $CH - DI$ , & ad quadrata producentia addendo quadrata ipsarum  $BC, CD$ , habebuntur arcuum  $GH, HI$  quadrata  $00 + QQ00 - 2QR0^3 + \&c.$  &  $00 + QQ00 + 2QR0^3 + \&c.$  Quorum radices  $0\sqrt{1+QQ} - \frac{QR00}{\sqrt{1+QQ}}$ , &

$0\sqrt{1+QQ} + \frac{QR00}{\sqrt{1+QQ}}$  sunt arcus  $GH$  &  $HI$ . Præterea si ab ordinata  $CH$  subducatur semisumma ordinarum  $BG$  ac  $DI$ , & ab ordinata  $DI$  subducatur semisumma ordinarum  $CH$  &  $EK$ , manebunt arcuum  $GI$  &  $HK$  sagittæ  $R00$  &  $R00 + 3S0^3$ . Et hæc sunt lineolis  $LH$  &  $NI$  proportionales, ideoque in duplicata ratione temporum infinite parvorum  $T$  &  $t$ : & inde ratio  $\frac{t}{T}$  est  $\sqrt{\frac{R+3S0}{R}}$  seu  $\frac{R+\frac{1}{2}S0}{R}$ ; &  $\frac{t \times GH}{T} - HI + \frac{2MI \times NI}{HI}$ ,

substituendo ipsorum  $\frac{t}{T}$ ,  $GH, HI, MI$  &  $NI$  valores jam inventos, evadit  $\frac{3S00}{2R} \sqrt{1+QQ}$ . Et cum  $2NI$  sit  $2R00$ , resistentia



stantia jam erit ad gravitatem ut  $\frac{3Soo}{2R} \sqrt{1+QQ}$  ad  $2Roo$ , id est, ut  $3S\sqrt{1+QQ}$  ad  $4RR$ .

Velocitas autem ea est, quacum corpus de loco quovis  $H$ , secundum tangentem  $HN$  egrediens, in parabola diametrum  $HC$  & latus rectum  $\frac{HNq}{NI}$  seu  $\frac{1+QQ}{R}$  habente, deinceps in vacuo moveri potest.

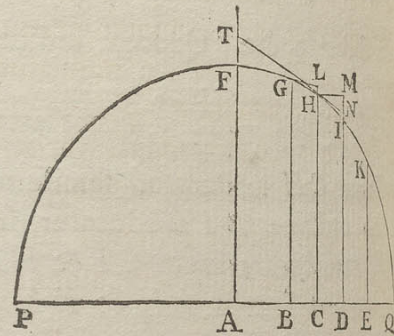
Et resistentia est ut medii densitas & quadratum velocitatis conjunctim, & propterea medii densitas est ut resistentia directe & quadratum velocitatis inverse, id est, ut  $\frac{3S\sqrt{1+QQ}}{4RR}$  directe &  $\frac{1+QQ}{R}$  inverse, hoc est, ut  $\frac{S}{R\sqrt{1+QQ}}$ . Q. E. I.

Corol. 1. Si tangens  $HN$  producat utrinque donec occurrat ordinatæ cuilibet  $AF$  in  $T$ : erit  $\frac{HT}{AC}$  æqualis  $\sqrt{1+QQ}$ , ideoque in superioribus pro  $\sqrt{1+QQ}$  scribi potest. Qua ratione resistentia erit ad gravitatem ut  $3S \times HT$  ad  $4RR \times AC$ , velocitas erit ut  $\frac{HT}{AC\sqrt{R}}$ , & medii densitas erit ut  $\frac{S \times AC}{R \times HT}$ .

Corol. 2. Et hinc, si curva linea  $PFHQ$  definiatur per relationem inter basem seu abscissam  $AC$  & ordinatim applicatam  $CH$ , ut moris est; & valor ordinatim applicatæ resolvatur in seriem convergentem: Problema per primos seriei terminos expedite solvetur, ut in exemplis sequentibus.

Exempl. 1. Sit linea  $PFHQ$  semicirculus super diametro  $PQ$  descriptus, & requiratur medii densitas quæ faciat ut projectile in hac linea moveatur.

Bisecetur diameter  $PQ$  in  $A$ ; dic  $AQ$ ,  $n$ ;  $AC$ ,  $a$ ;  $CH$ ,  $e$ ; &  $CD$ ,  $o$ : & erit  $DIq$  seu  $AQq - ADq = nn - aa - 2ao - oo$ , seu



& radice per methodum nostram extracta, fiet  $DI = e - \frac{ao}{e} - \frac{oo}{2e} - \frac{aao}{2e^3} - \frac{ao^3}{2e^3} - \frac{a^3o^3}{2e^5} - \&c.$  Hic scribatur

$nn$  pro  $ee + aa$ , & evadet  $DI = e - \frac{ao}{e} - \frac{nnoo}{2e^3} - \frac{annoo^3}{2e^5} - \&c.$

Hujusmodi series distinguo in terminos successivos in hunc modum. Terminum primum appello, in quo quantitas infinite parva non extat; secundum, in quo quantitas illa est unius dimensionis; tertium, in quo extat duarum; quartum, in quo trium est; & sic in infinitum. Et primus terminus, qui hic est  $e$ , denotabit semper longitudinem ordinatæ  $CH$  insistentis ad initium indefinitæ quantitatæ  $o$ . Secundus terminus, qui hic est  $\frac{ao}{e}$ , denotabit differentiam

inter  $CH$  &  $DN$ , id est, lineolam  $MN$ , quæ abscinditur complendo parallelogrammum  $HCDM$ , atque ideo positionem tangentis  $HN$  semper determinat; ut in hoc casu capiendo  $MN$  ad  $HM$  ut est  $\frac{ao}{e}$  ad  $o$ , seu  $a$  ad  $e$ . Terminus tertius, qui hic est  $\frac{nnoo}{2e^3}$ , de-

signabit lineolam  $IN$ , quæ jacet inter tangentem & curvam, ideoque determinat angulum contactus  $IHN$  seu curvaturam quam curva linea habet in  $H$ . Si lineola illa  $IN$  finitæ est magnitudinis, designabitur per terminum tertium una cum sequentibus in infinitum. At si lineola illa minuatur in infinitum, termini subsequentes evadent infinite minores tertio, ideoque negligi possunt. Terminus quartus determinat variationem curvaturæ, quintus variationem variationis, & sic deinceps. Unde obiter patet usus non contemnendus harum serierum in solutione problematum, quæ pendent a tangentibus & curvatura curvarum.

Conferatur jam series  $e - \frac{ao}{e} - \frac{nnoo}{2e^3} - \frac{annoo^3}{2e^5} - \&c.$  cum serie

$P - Qo - Roo - So^3 - \&c.$  & perinde pro  $P$ ,  $Q$ ,  $R$  &  $S$  scribatur

$e, \frac{a}{e}, \frac{nn}{2e^3}, \& \frac{ann}{2e^5}$ , & pro  $\sqrt{1+QQ}$  scribatur  $\sqrt{1 + \frac{aa}{ee}}$  seu  $\frac{n}{e}$ , &

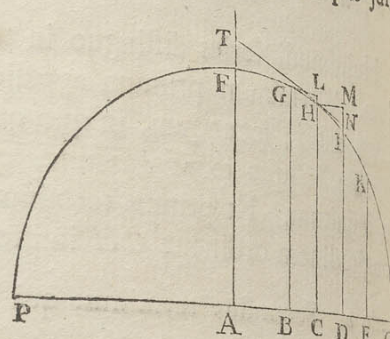
probit medii densitas ut  $\frac{a}{ne}$ , hoc est (ob datam  $n$ ) ut  $\frac{a}{e}$ , seu

$AC,$



DE MOTU  
CORPORUM

$\frac{AC}{CH}$  id est, ut tangentis longitudo illa  $HT$ , quæ ad semidiametrum  $AF$  ipsi  $PQ$  normaliter insistentem terminatur: & resistentia erit ad gravitatem ut  $3a$  ad  $2n$ , id est, ut  $3AC$  ad circuli diametrum  $PQ$ : velocitas autem erit ut  $\sqrt{CH}$ . Quare si corpus juxta ipsi  $PQ$  parallelam exeat de loco  $F$ , & medii densitas in singulis locis  $H$  sit ut longitudo tangentis  $HT$ , & resistentia etiam in loco aliquo  $H$  sit ad vim gravitatis ut  $3AC$  ad  $PQ$ , corpus illud describet circuli quadrantem  $FHQ$ . *Q. E. I.*

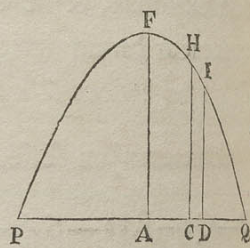


At si corpus idem de loco  $P$ , secundum lineam ipsi  $PQ$  perpendicularem egrederetur, & in arcu semicirculi  $PFQ$  moveri inciperet, sumenda esset  $AC$  seu  $a$  ad contrarias partes centri  $A$ , & propterea signum ejus mutandum esset & scribendum  $-a$  pro  $+a$ .

Quo pacto prodiret medii densitas ut  $-\frac{a}{e}$ . Negativam autem densitatem, hoc est, quæ motus corporum accelerat, natura non admittit: & propterea naturaliter fieri non potest, ut corpus ascendendo a  $P$  describat circuli quadrantem  $PF$ . Ad hunc effectum deberet corpus a medio impellente accelerari, non a resistente impediri.

*Exempl. 2.* Sit linea  $PFQ$  parabola, axem habens  $AF$  horizonti  $PQ$  perpendicularem, & requiratur medii densitas, quæ faciat ut projectile in ipsa moveatur.

Ex natura parabolæ, rectangulum  $PDQ$  æquale est rectangulo sub ordinata  $DI$  & recta aliqua data: hoc est, si dicantur recta illa  $b$ ;  $PC, a$ ;  $PQ, c$ ;  $CH, e$ ; &  $CD, o$ ; rectangulum  $a+o$  in  $c-a-o$  seu  $ac-aa-2ao+co-oo$  æquale est rectangulo



$b$  in  $DI$ , ideoque  $DI$  æquale  $\frac{ac-aa}{b} + \frac{c-2a}{b}o - \frac{oo}{b}$ . Jam scribendus esset hujus seriei secundus terminus  $\frac{c-2a}{b}o$  pro  $Qo$ , tertius

item

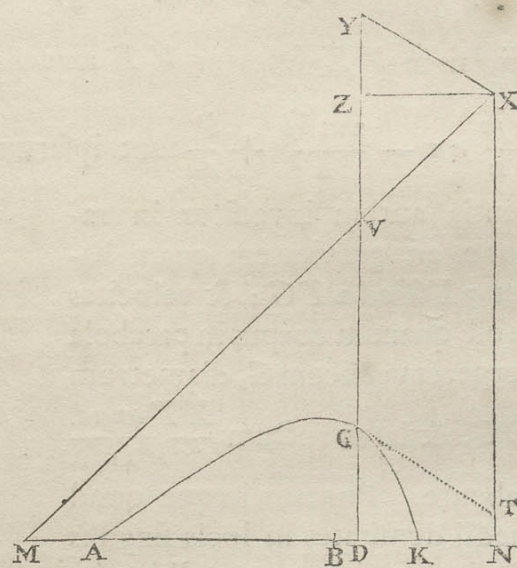
LIBER  
SECUNDUS.

item terminus  $\frac{oo}{b}$  pro  $Ro$ . Cum vero plures non sint termini, debet quarti coefficientis  $S$  evanescere, & propterea quantitas

$\frac{S}{R\sqrt{1+QQ}}$ , cui medii densitas proportionalis est, nihil erit. Nulla igitur medii densitate movebitur projectile in parabola, uti olim demonstravit Galilaus. *Q. E. I.*

*Exempl. 3.* Sit linea  $AGK$  hyperbola, asymptoton habens  $NX$  plano horizontali  $AK$  perpendicularem; & quærat medii densitas, quæ faciat ut projectile moveatur in hac linea.

Sit  $MX$  asymptotos altera, ordinatim applicatæ  $DG$  productæ occurrens in  $V$ ; & ex natura hyperbolæ, rectangulum  $XV$  in  $VG$  dabitur. Datur autem ratio  $DN$  ad  $VX$ , & propterea datur etiam rectangulum  $DN$  in  $VG$ . Sit illud  $bb$ : & completo parallelogrammo  $DNXZ$ ; dicatur  $BN, a$ ;  $BD, o$ ;  $NX, c$ ; & ratio data  $VZ$  ad  $ZX$  vel  $DN$  ponatur esse  $\frac{m}{n}$ . Et erit  $DN$  æqualis  $a-o$ ,  $VG$  æqualis



$\frac{bb}{a-o}$ ,  $VZ$  æqualis  $\frac{m}{n} \frac{bb}{a-o}$ , &  $GD$  seu  $NX - VZ - VG$  æqualis  $c - \frac{m}{n}a + \frac{m}{n}o - \frac{bb}{a-o}$ . Resolvatur terminus  $\frac{bb}{a-o}$  in seriem convergentem  $\frac{bb}{a} + \frac{bb}{aa}o + \frac{bb}{a^2}oo + \frac{bb}{a^3}o^3$  &c. & fiet  $GD$  æqualis  $c - \frac{m}{n}a - \frac{bb}{a} + \frac{m}{n}o - \frac{bb}{aa}o - \frac{bb}{a^2}o^2 - \frac{bb}{a^3}o^3$  &c. Hujus seriei terminus secundus  $\frac{m}{n}o - \frac{bb}{aa}o$  usurpandus est pro  $Qo$ , tertius cum signo mutato  $\frac{bb}{a^2}o^2$  pro  $Ro^2$ , & quartus cum signo etiam mutato  $\frac{bb}{a^3}o^3$

L 1

pro



pro  $S^o$ , eorumque coefficientes  $\frac{m}{n}$ ,  $\frac{bb}{aa}$ ,  $\frac{bb}{a^2}$  &  $\frac{bb}{a^3}$  scribendæ sunt in regula superiore pro Q, R & S. Quo facto prodit medii densitas

$$\text{ut } \frac{bb}{a^2} \sqrt{1 + \frac{mm}{nn} - \frac{2mbb}{naa} + \frac{b^4}{a^4}} \text{ seu } \frac{1}{\sqrt{aa + \frac{mm}{nn}aa - \frac{2mbb}{nn} + \frac{b^4}{aa}}} \text{ id}$$

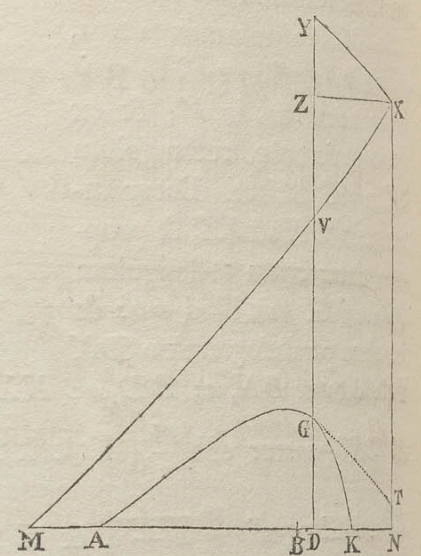
est, si in  $VZ$  sumatur  $VT$  æqualis  $VG$ , ut  $\frac{1}{XT}$ . Namque  $aa$  &  $\frac{mm}{nn}aa - \frac{2mbb}{n} + \frac{b^4}{aa}$  sunt ipsarum  $XZ$  &  $ZT$  quadrata. Resi-

stentia autem invenitur in ratione ad gravitatem quam habet  $3XT$  ad  $2TG$ ; & velocitas ea est, quacum corpus in parabola pergeret verticem  $G$ , diametrum  $DG$ , & latus rectum  $\frac{XT \text{ quad.}}{VG}$

habente. Ponatur itaque quod medii densitates in locis singulis  $G$  sint reciproce ut distantiae  $XT$ , quodque resistentia in loco aliquo  $G$  sit ad gravitatem ut  $3XT$  ad  $2TG$ ; & corpus de loco  $A$ , iuxta cum velocitate emissum, describet hyperbolam illam  $AGK$ . Q. E. I.

Exempl. 4. Ponatur indefinite, quod linea  $AGK$  hyperbola sit, centro  $X$ , asymptotis  $MX$ ,  $NX$  ea lege descripta, ut constructo rectangulo  $XZDN$  cujus latus  $ZD$  secet hyperbolam in  $G$  & asymptoton ejus in  $V$ , fuerit  $VG$  reciproce ut ipsius  $ZX$  vel  $DN$  dignitas aliqua  $DN^n$ , cujus index est numerus  $n$ : & quaeratur medii densitas, qua projectile progrediatur in hac curva.

Pro  $BN$ ,  $BD$ ,  $NX$  scribantur  $A$ ,  $O$ ,  $C$  respective, sitque  $VZ$  ad  $XZ$  vel  $DN$  ut  $d$  ad  $e$ , &  $VG$  æqualis  $\frac{bb}{DN^n}$ , & erit  $DN$  æqua-



lis  $A-O$ ,  $VG = \frac{bb}{A-O}$ ,  $VZ = \frac{d}{e} A-O$ , &  $GD$  seu  $NX - VZ$

$-VG$  æqualis  $C - \frac{d}{e} A + \frac{d}{e} O - \frac{bb}{A-O}$ . Resolvatur terminus ille

$\frac{bb}{A-O}$  in seriem infinitam  $\frac{bb}{A^n} + \frac{nb b}{A^{n+1}} O + \frac{nn + n}{2A^{n+2}} bb O^2 + \frac{n^3 + 3nn + 2n}{6A^{n+3}} bb O^3$  &c. ac fiet  $GD$  æqualis  $C - \frac{d}{e} A - \frac{bb}{A^n} +$

$\frac{d}{e} O - \frac{nb b}{A^{n+1}} O - \frac{nn + n}{2A^{n+2}} bb O^2 - \frac{n^3 + 3nn + 2n}{6A^{n+3}} bb O^3$  &c. Hujus seriei terminus secundus  $\frac{d}{e} O - \frac{nb b}{A^{n+1}} O$  usurpandus est pro  $Q$ ,

tertius  $\frac{nn + n}{2A^{n+2}} bb O^2$  pro  $R^o$ , quartus  $\frac{n^3 + 3nn + 2n}{6A^{n+3}} bb O^3$  pro

$S^o$ . Et inde medii densitas  $\frac{S}{R\sqrt{1+QQ}}$ , in loco quovis  $G$ , fit

$\frac{n+2}{3\sqrt{A^2 + \frac{dd}{ee}A^2 - \frac{2dnbb}{eA^n}A + \frac{nnb^4}{A^{2n}}}}$ , ideoque si in  $VZ$  capiatur  $VT$

æqualis  $n \times VG$ , densitas illa est reciproce ut  $XT$ . Sunt enim  $A^2$

&  $\frac{dd}{ee}A^2 - \frac{2dnbb}{eA^n}A + \frac{nnb^4}{A^{2n}}$  ipsarum  $XZ$  &  $ZT$  quadrata. Resisten-

tia autem in eodem loco  $G$  fit ad gravitatem ut  $3S$  in  $\frac{XT}{A}$  ad  $4RR$ ,

id est, ut  $XT$  ad  $\frac{2nn+2n}{n+2} VG$ . Et velocitas ibidem ea ipsa est, quacum

corpus projectum in parabola pergeret, verticem  $G$ , diametrum  $GD$  & latus rectum  $\frac{1+QQ}{R}$  seu  $\frac{2XT \text{ quad.}}{nn+n}$  in  $VG$  habente. Q. E. I.

Scholium.

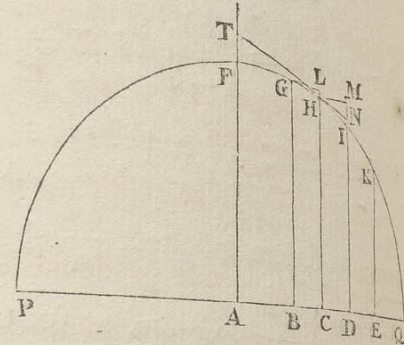
Eadem ratione qua prodit densitas medii ut  $\frac{S \times AC}{R \times HT}$  in corollario primo, si resistentia ponatur ut velocitatis  $V$  dignitas quælibet

L 1 2



DE MOTU  
CORPORUM

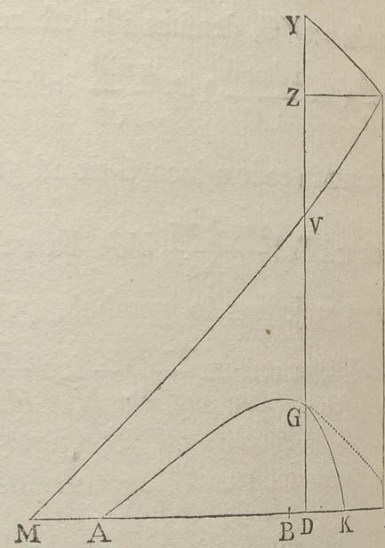
bet  $V^n$ , prodibit densitas medii  
ut  $\frac{S}{R^{\frac{n-1}{2}}} \times \frac{AC}{HT}^{n-1}$ . Et propterea  
si curva inveniri potest ea lege,  
ut data fuerit ratio  $\frac{S}{R^{\frac{n-1}{2}}}$  ad



$\frac{HT}{AC}^{n-1}$ , vel  $\frac{S^2}{R^{4-n}}$  ad  $1+QQ^{n-1}$ : corpus movebitur in hac curva in  
uniformi medio cum resistentia quæ sit ut velocitatis dignitas  $V^n$ .  
Sed redeamus ad curvas simpliciores.

Quoniam motus non fit in parabola nisi in medio non resistente,  
in hyperbolis vero hic descriptis fit per resistentiam perpetuam;  
perspicuum est quod linea, quam projectile in medio uniformiter  
resistente describit, propius accedit ad hyperbolas hæc quam ad  
parabolam. Est utique linea illa hyperbolici generis, sed quæ circa  
verticem magis distat ab asymptotis; in partibus a vertice remotiori-  
bus propius ad ipsas accedit quam pro ratione hyperbolarum quas hic  
descripsi. Tanta vero non est inter has & illam differentia, quin illius  
loco possint hæ in rebus practicis  
non incommode adhiberi. Et  
utiliores forsan futuræ sunt hæ,  
quam hyperbola magis accurata  
& simul magis composita. Ipsæ  
vero in usum sic deducuntur.

Compleatur parallelogrammum  
 $XYGT$ , & recta  $GT$  tanget hy-  
perbolam in  $G$ , ideoque densi-  
tas medii in  $G$  est reciproce ut  
tangens  $GT$ , & velocitas ibidem  
ut  $\sqrt{\frac{GTq}{GV}}$ , resistentia autem ad  
vim gravitatis ut  $GT$  ad  $\frac{2nn+2n}{n+2}$   
in  $GV$ .



Proinde

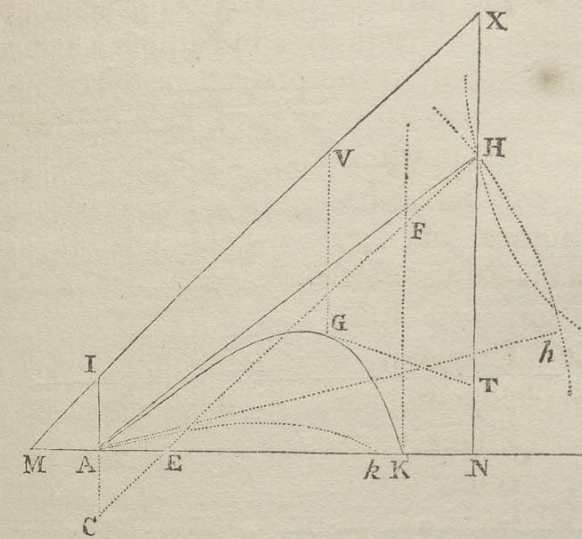
LIBER  
SECUNDUS.

Proinde si corpus de loco  $A$  secundum rectam  $AH$  projectum de-  
scribat hyperbolam  $AGK$ , &  $AH$  producta occurrat asymptoto  
 $NX$  in  $H$ , actaque  $AI$  eidem parallela occurrat alteri asymptoto  
 $MX$  in  $I$ : erit medii densitas in  $A$  reciproce ut  $AH$ , & corporis  
velocitas ut  $\sqrt{\frac{AHq}{AI}}$ , ac resistentia ibidem ad gravitatem ut  $AH$  ad

$\frac{2nn+2n}{n+2}$  in  $AI$ . Unde prodeunt sequentes regulæ.

Reg. 1. Si fervetur tum medii densitas in  $A$ , tum velocitas qua-  
cum corpus projicitur, & mutetur angulus  $NAH$ ; manebunt lon-  
gitudines  $AH$ ,  $AI$ ,  $HX$ . Ideoque si longitudines illæ in aliquo  
casu inveniantur, hyperbola deinceps ex dato quovis angulo  $NAH$   
expedite determinari potest.

Reg. 2. Si fervetur tum angulus  $NAH$ , tum medii densitas in  
 $A$ , & mutetur velocitas quacum corpus projicitur; servabitur lon-  
gitudinis  $AH$ , & mutabitur  $AI$  in duplicata ratione velocitatis reci-  
proce.



Reg. 3. Si tam angulus  $NAH$ , quam corporis velocitas in  $A$ ,  
gravitasque acceleratrix fervetur, & proportio resistentiæ in  $A$  ad  
gravitatem motricem augeatur in ratione quacunque; augebitur  
proportio  $AH$  ad  $AI$  in eadem ratione, manente parabolæ præ-  
dictæ latere recto, eique proportionali longitudine  $\frac{AHq}{AI}$ : & prop-

terea

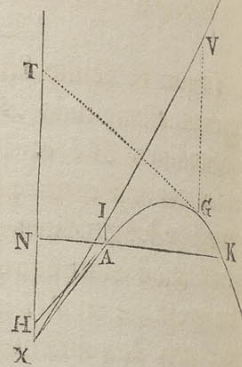






& propterea etiam æqualis  $KN$ . Sed  $CE$  est ad  $AE$  ut  $FH$  ad  $KN$ , & propterea  $CE$  &  $FH$  æquantur. Incidit ergo punctum  $H$  in hyperbolam asymptotis  $AK$ ,  $KF$  descriptam, cujus conjugata tranfit per punctum  $C$ , atque ideo reperitur in communi intersectione hyperbolæ hujus & circuli descripti.  $Q. E. D.$  Notandum est autem quod hæc operatio perinde se habet, siue recta  $AKN$  horizonti parallela sit, siue ad horizontem in angulo quovis inclinata: quodque ex duabus intersectionibus  $H$ ,  $H$  duo prodeunt anguli  $NAH$ ,  $NAH$ ; & quod in praxi mechanica sufficit circulum semel describere, deinde regulam interminatam  $CH$  ita applicare ad punctum  $C$ , ut ejus pars  $FH$ , circulo & rectæ  $FK$  interjecta, æqualis sit ejus parti  $CE$  inter punctum  $C$  & rectam  $AK$  sitæ.

Quæ de hyperbolis dicta sunt facile applicantur ad parabolas. Nam si  $XAGK$  parabolam designet quam recta  $XV$  tangat in vertice  $X$ , sintque ordinatim applicatæ  $IA$ ,  $VG$  ut quælibet abscissarum  $XI$ ,  $XV$  dignitates  $XI^n$ ,  $XV^n$ ; agantur  $XT$ ,  $GT$ ,  $AH$ , quarum  $XT$  parallela sit  $VG$ , &  $GT$ ,  $AH$  parabolam tangant in  $G$  &  $A$ : & corpus de loco quovis  $A$ , secundum rectam  $AH$  productam, iuxta cum velocitate projectum, describet hanc parabolam, si modo densitas medii, in locis singulis  $G$ , sit reciproce ut tangens  $GT$ . Velocitas autem in  $G$  ea erit quacum projectile pergeret, in spatio non resistente, in parabola conica verticem  $G$ , diametrum  $VG$  deorsum productam, & latus rectum  $\frac{2GTq}{nn-n \times VG}$  habente. Et resistentia in  $G$  erit ad vim



gravitatis ut  $GT$  ad  $\frac{2nn-2n}{n-2} VG$ . Unde si  $NAK$  lineam horizontalem designet, & manente tum densitate medii in  $A$ , tum velocitate quacum corpus projicitur, mutetur utcumque angulus  $NAH$ , manebunt longitudines  $AH$ ,  $AI$ ,  $HX$ , & inde datur parabolæ vertex  $X$ , & positio rectæ  $XI$ , & sumendo  $VG$  ad  $IA$  ut  $XV^n$  ad  $XI^n$ , dantur omnia parabolæ puncta  $G$ , per quæ projectile tranfubit.

SECTIO

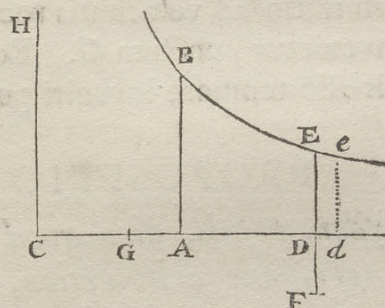
SECTIO III.

*De motu corporum quibus resistitur partim in ratione velocitatis, partim in ejusdem ratione duplicata.*

PROPOSITIO XI. THEOREMA VIII.

*Si corpori resistitur partim in ratione velocitatis, partim in velocitatis ratione duplicata, & idem sola vi insita in medio similari movetur: sumantur autem tempora in progressionem arithmetica; quantitates velocitatibus reciproce proportionales, data quadam quantitate auctæ, erunt in progressionem geometrica.*

Centro  $C$ , asymptotis rectangulis  $CAD$  &  $CH$ , describatur hyperbola  $BEe$ , & asymptoto  $CH$  parallelæ sint  $AB$ ,  $DE$ ,  $de$ . In asymptoto  $CD$  dentur puncta  $A$ ,  $G$ : Et si tempus exponatur per aream hyperbolicam  $ABED$  uniformiter crescentem; dico quod velocitas exponi potest per longitudinem  $DF$ , cujus reciproca  $GD$  una cum data  $CG$  componat longitudinem  $CD$  in progressionem geometrica crescentem.



Sit enim areola  $DEed$  datum temporis incrementum quam minimum, & erit  $Dd$  reciproce ut  $DE$ , ideoque directe ut  $CD$ . Ipsi autem  $\frac{1}{GD}$  decrementum, quod (per hujus lem. 11.) est  $\frac{Dd}{GDq}$ , erit ut  $\frac{CD}{GDq}$  seu  $\frac{CG+GD}{GDq}$ , id est, ut  $\frac{1}{GD} + \frac{CG}{GDq}$ . Igitur tempore  $ABED$  per additionem datarum particularum  $EDde$  uniformiter crescente, decrescit  $\frac{1}{GD}$  in eadem ratione cum velocitate. Nam decrementum velocitatis est ut resistentia, hoc est

M m

est



est (per hypothesin) ut summa duarum quantitatum, quarum una est ut velocitas, altera ut quadratum velocitatis; & ipsius  $\frac{1}{GD}$  decrementum est ut summa quantitatum  $\frac{1}{GD}$  &  $\frac{CG}{GDq}$ , quarum prior est ipsa  $\frac{1}{GD}$ , & posterior  $\frac{CG}{GDq}$  est ut  $\frac{1}{GDq}$ : proinde  $\frac{1}{GD}$ , ob analogum decrementum, est ut velocitas. Et si quantitas  $GD$ , ipsi  $\frac{1}{GD}$  reci-

proce proportionalis, quantitate data  $CG$  augeatur; summa  $CD$ , tempore  $ABED$  uniformiter crescente, crescet in progressionem geometricam. *Q. E. D.*

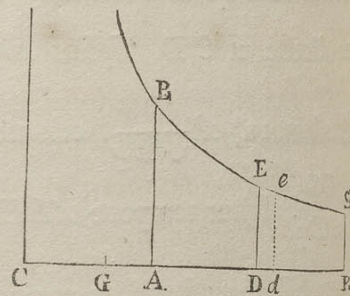
*Corol. 1.* Igitur si, datis punctis  $A, G$ , exponatur tempus per aream hyperbolicam  $ABED$ , exponi potest velocitas per ipsius  $GD$  reciprocam  $\frac{1}{GD}$ .

*Corol. 2.* Sumendo autem  $GA$  ad  $GD$  ut velocitatis reciproca sub initio, ad velocitatis reciprocam in fine temporis cuiusvis  $ABED$ , invenietur punctum  $G$ . Eo autem invento, velocitas ex dato quovis alio tempore inveniri potest.

## PROPOSITIO XII. THEOREMA IX.

*Isdem positis, dico quod si spatia descripta sumantur in progressionem arithmetica, velocitates data quadam quantitate auctæ erunt in progressionem geometrica.*

In asymptoto  $CD$  detur punctum  $R$ , & erecto perpendiculo  $RS$ , quod occurrat hyperbolæ in  $S$ , exponatur descriptum spatium per aream hyperbolicam  $RSED$ ; & velocitas erit ut longitudo  $GD$ , quæ cum data  $CG$  componit longitudinem  $CD$  in progressionem geometrica decreascentem, interea dum spatium  $RSED$  augetur in arithmetica.



Etenim

Etenim ob datum spatii incrementum  $EDde$ , lineola  $Dd$ , quæ decrementum est ipsius  $GD$ , erit reciproce ut  $ED$ , ideoque directe ut  $CD$ , hoc est, ut summa ejusdem  $GD$  & longitudinis datæ  $CG$ . Sed velocitatis decrementum, tempore sibi reciproce proportionali, quo data spatii particula  $DdeE$  describitur, est ut resistentia & tempus conjunctim, id est, directe ut summa duarum quantitatum, quarum una est ut velocitas, altera ut velocitatis quadratum, & inverse ut velocitas; ideoque directe ut summa duarum quantitatum, quarum una datur, altera est ut velocitas. Decrementum igitur tam velocitatis quam lineæ  $GD$ , est ut quantitas data & quantitas decreascentis conjunctim, & propter analoga decrementa, analogæ semper erunt quantitates decreascentes; nimirum velocitas & lineæ  $GD$ . *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Si velocitas exponatur per longitudinem  $GD$ , spatium descriptum erit ut area hyperbolica  $DESR$ .

*Corol. 2.* Et si utcumque assumatur punctum  $R$ , invenietur punctum  $G$  capiendū  $GR$  ad  $GD$ , ut est velocitas sub initio ad velocitatem post spatium quodvis  $RSED$  descriptum. Invento autem puncto  $G$ , datur spatium ex data velocitate, & contra.

*Corol. 3.* Unde cum (per prop. XI.) detur velocitas ex dato tempore, & per hanc propositionem detur spatium ex data velocitate; dabitur spatium ex dato tempore: & contra.

## PROPOSITIO XIII. THEOREMA X.

*Posito quod corpus ab uniformi gravitate deorsum attractum recta ascendit vel descendit; & quod eidem resistitur partim in ratione velocitatis, partim in ejusdem ratione duplicata: dico quod, si circuli & hyperbolæ diametris parallelæ rectæ per conjugatarum diametrorum terminos ducantur, & velocitates sint ut segmenta quedam parallelarum a dato puncto ducta; tempora erunt ut arearum sectores, rectis a centro ad segmentorum terminos ductis abscissi: & contra.*

*Cas. 1.* Ponamus primo quod corpus ascendit, centroque  $D$  & semidiametro quovis  $DB$  describatur circuli quadrans  $BETF$ , & per

M m 2

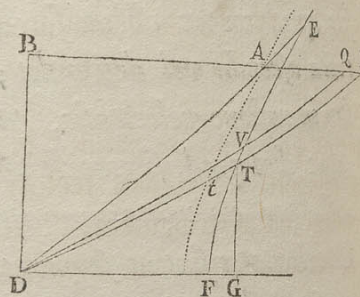
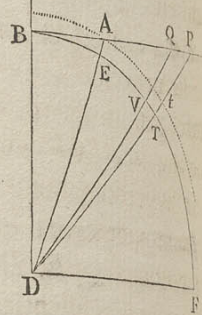


per semidiametri  $DB$  terminum  $B$  agatur infinita  $BAP$ , semidia-  
metro  $DF$  parallela. In ea detur punctum  $A$ , & capiatur segmen-  
tum  $AP$  velocitati proportionale. Et cum resistentiæ pars altera  
sit ut velocitas & pars altera ut velocitatis quadratum; sit resistentia  
tota ut  $AP$  quad.  $+ 2BAP$ . Jungantur  $DA$ ,  $DP$  circulum secantes in  
 $E$  ac  $T$ , & exponatur gravitas per  $DA$  quad.  
ita ut sit gravitas ad resistentiam in  $P$  ut  $DAq$  ad  
 $APq + 2BAP$ : & tempus ascensus totius  
erit ut circuli sector  $EDT$ .

Agatur enim  $DVQ$ , abscindens & velocita-  
tis  $AP$  momentum  $PQ$ , & sectoris  $DET$   
momentum  $DTV$  dato temporis momen-  
to respondens; & velocitatis decrementum  
illud  $PQ$  erit ut summa virium gravitatis  
 $DAq$  & resistentiæ  $APq + 2BAP$ , id est (per prop. 12. lib. 2. elem.)  
ut  $DP$  quad. Proinde area  $DPQ$ , ipsi  $PQ$  proportionalis, est ut  
 $DP$  quad. & area  $DTV$ , quæ est ad aream  $DPQ$  ut  $DTq$  ad  $DPq$ ,  
est ut datum  $DTq$ . Decrescit igitur area  $EDT$  uniformiter ad mo-  
dum temporis futuri, per subtractionem datarum particularum  $DTV$ ,  
& propterea tempori ascensus totius proportionalis est.  $Q.E.D.$

*Cas. 2.* Si velocitas in ascensu corporis exponatur per longitu-  
dinem  $AP$  ut prius, & resistentia ponatur esse ut  $APq + 2BAP$ , &  
si vis gravitatis minor sit quam quæ per  $DAq$  exponi possit; capi-  
atur  $BD$  ejus longitudinis, ut sit  $ABq - BDq$  gravitati proportio-  
nale, sitque  $DF$  ipsi  $DB$  perpen-  
dicularis & æqualis, & per verticem  
 $F$  describatur hyperbola  $FTVE$ ,  
cujus semidiametri conjugatæ sint  
 $DB$  &  $DF$ , quæque secet  $DA$  in  
 $E$ , &  $DP$ ,  $DQ$  in  $T$  &  $V$ ; &  
erit tempus ascensus totius ut hy-  
perbolæ sector  $TDE$ .

Nam velocitatis decrementum  
 $PQ$ , in data temporis particula factum, est ut summa resistentiæ  
 $APq + 2BAP$  & gravitatis  $ABq - BDq$ , id est, ut  $BPq - BDq$ .  
Est autem area  $DTV$  ad aream  $DPQ$  ut  $DTq$  ad  $DPq$ ; ideoque,  
si ad  $DF$  demittatur perpendicularum  $GT$ , ut  $GTq$  seu  $GDq - DFq$   
ad



ad  $BDq$ , utque  $GDq$  ad  $BPq$ , & divisim ut  $DFq$  ad  $BPq - BDq$ .  
Quare cum area  $DPQ$  sit ut  $PQ$ , id est, ut  $BPq - BDq$ ; erit  
area  $DTV$  ut datum  $DFq$ . Decrescit igitur area  $EDT$  uniformi-  
ter singulis temporis particulis æqualibus, per subtractionem parti-  
cularum totidem datarum  $DTV$ , & propterea tempori proportio-  
nalis est.  $Q.E.D.$

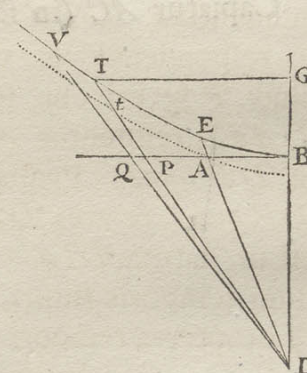
*Cas. 3.* Sit  $AP$  velocitas in descensu corporis, &  $APq + 2BAP$   
resistentia, &  $BDq - ABq$  vis gravitatis, existente angulo  $DBA$   
recto. Et si centro  $D$ , vertice principali  $B$ , describatur hyperbola  
rectangula  $BETV$  secans productas  $DA$ ,  $DP$  &  $DQ$  in  $E$ ,  $T$  &  $V$ ;  
erit hyperbolæ hujus sector  $DET$  ut tempus totum descensus.

Nam velocitatis incrementum  $PQ$ , eique  
proportionalis area  $DPQ$ , est ut excessus gra-  
vitatis supra resistentiam, id est, ut  $BDq - ABq$   
 $- 2BAP - APq$  seu  $BDq - BPq$ . Et area  
 $DTV$  est ad aream  $DPQ$  ut  $DTq$  ad  $DPq$ ,  
ideoque ut  $GTq$  seu  $GDq - BDq$  ad  $BPq$ , ut-  
que  $GDq$  ad  $BDq$ , & divisim ut  $BDq$  ad  $BDq$   
 $- BPq$ . Quare cum area  $DPQ$  sit ut  $BDq$   
 $- BPq$ , erit area  $DTV$  ut datum  $BDq$ . Cre-  
scit igitur area  $EDT$  uniformiter singulis tem-  
poris particulis æqualibus, per additionem totidem datarum particula-  
rum  $DTV$ , & propterea tempori descensus proportionalis est.  $Q.E.D.$

*Corol.* Si centro  $D$  semidiametro  $DA$  per verticem  $A$  ducatur  
arcus  $At$  similis arcui  $ET$ , & similiter subtendens angulum  $ADT$ :  
velocitas  $AP$  erit ad velocitatem, quam corpus tempore  $EDT$ , in  
spatio non resistente, ascendendo amittere vel descendendo acqui-  
rere posset, ut area trianguli  $DAP$  ad aream sectoris  $DAt$ ; ideo-  
que ex dato tempore datur. Nam velocitas, in medio non resisten-  
te, tempori, atque ideo sectori huic proportionalis est; in medio  
resistente est ut triangulum; & in medio utroque, ubi quam minima  
est, accedit ad rationem æqualitatis, pro more sectoris & trianguli.

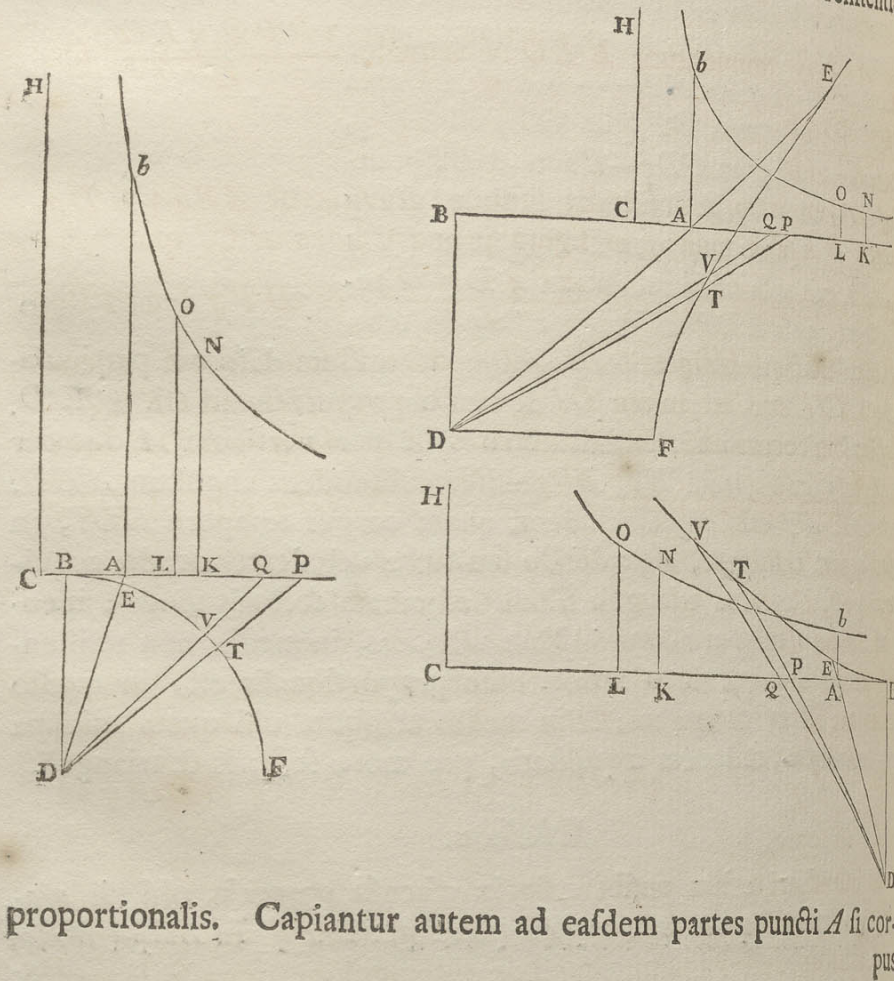
*Scholium.*

Demonstrari etiam posset casus in ascensu corporis, ubi vis gra-  
vitatis minor est quam quæ exponi possit per  $DAq$  seu  $ABq + BDq$ ,  
&





PROPOSITIO XIV. THEOREMA XI.  
*Isdem positis, dico quod spatium ascensu vel descensu descrip-  
tum, est ut differentia areae per quam tempus exponitur, &  
areae cujusdam alterius quæ augetur vel diminuitur in pro-  
gressione arithmetica; si vires ex resistentia & gravitate  
compositæ sumantur in progressione geometrica.*  
Capiatur  $AC$  (in fig. tribus ultimis) gravitati, &  $AK$  resistentiæ



proportionalis. Capiantur autem ad easdem partes puncti  $A$  si cor-  
pus

LIBER  
SECUNDUS.  
pius descendit, aliter ad contrarias. Erigatur  $Ab$ , quæ sit ad  $DB$   
ut  $DBq$  ad  $BAC$ : & descripta ad asymptotos rectangulas  $CK$ ,  
 $CH$  hyperbola  $bN$ , erectaque  $KN$  ad  $CK$  perpendiculari, area  $AbNK$   
augebitur vel diminuetur in progressione arithmetica, dum vires  $CK$   
in progressione geometrica sumuntur. Dico igitur quod distantia  
corporis ab ejus altitudine maxima fit ut excessus areae  $AbNK$  supra  
aream  $DET$ .

Nam cum  $AK$  sit ut resistentia, id est, ut  $APq + 2BAP$ ,  
assumatur data quævis quantitas  $Z$ , & ponatur  $AK$  æqualis  
 $\frac{APq + 2BAP}{Z}$ ; & (per hujus lemma 11.) erit ipsius  $AK$  mo-  
mentum  $KL$  æquale  $\frac{2APQ + 2BA \times P Q}{Z}$  seu  $\frac{2BPQ}{Z}$ , &

areae  $AbNK$  momentum  $KLON$  æquale  $\frac{2BPQ \times LO}{Z}$  seu  
 $\frac{BPQ \times BD \text{ cub.}}{Z \times CK \times AB}$ .

Cas. 1. Jam si corpus ascendit, sitque gravitas ut  $ABq + BDq$   
existente  $BET$  circulo (in figura prima) linea  $AC$ , quæ gra-  
vitati proportionalis est, erit  $\frac{ABq + BDq}{Z}$ , &  $DPq$  seu  $APq$   
 $+ 2BAP + ABq + BDq$  erit  $AK \times Z + AC \times Z$  seu  $CK \times Z$ ; ideo-  
que area  $DTV$  erit ad aream  $DPQ$  ut  $DTq$  vel  $DBq$  ad  $CK \times Z$ .

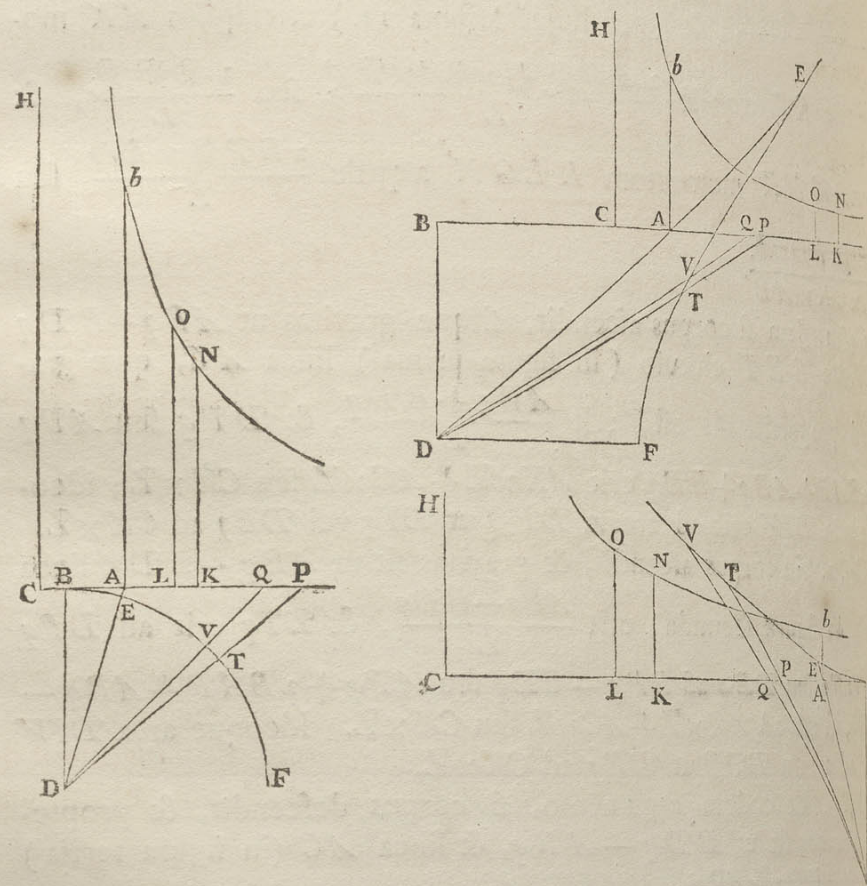
Cas. 2. Sin corpus ascendit, & gravitas sit ut  $ABq - BDq$ , linea  
 $AC$  (in figura secunda) erit  $\frac{ABq - BDq}{Z}$ , &  $DTq$  erit ad  $DPq$   
ut  $DFq$  seu  $DBq$  ad  $BPq - BDq$  seu  $APq + 2BAP + ABq -$   
 $BDq$ , id est, ad  $AK \times Z + AC \times Z$  seu  $CK \times Z$ . Ideoque area  $DTV$   
erit ad aream  $DPQ$  ut  $DBq$  ad  $CK \times Z$ .

Cas. 3. Et eodem argumento, si corpus descendit, & prop-  
terea gravitas sit ut  $BDq - ABq$ , & linea  $AC$  (in figura tertia)  
æquetur  $\frac{BDq - ABq}{Z}$  erit area  $DTV$  ad aream  $DPQ$  ut  $DBq$  ad  
 $CK \times Z$ : ut supra.

Cum igitur areae illæ semper sint in hac ratione; si pro area  
 $DTV$ , qua momentum temporis sibi met ipsi semper æquale expo-  
nitur, scribatur determinatum quodvis rectangulum, puta  $BD \times m$ ,  
erit



erit area  $DPQ$ , id est,  $\frac{1}{2}BD \times PQ$ ; ad  $BD \times m$  ut  $CK \times L$  ad  $BD$ .  
Atque inde fit  $PQ \times BD$  cub. æquale  $2BD \times m \times CK \times L$ , & area  
 $AbNK$  momentum  $KLO$  superius inventum fit  $\frac{BP \times BD \times m}{AB}$ .  
Auferatur area  $DET$  momentum  $DTV$  seu  $BD \times m$ , & restabit  
 $\frac{AP \times BD \times m}{AB}$ . Est igitur differentia momentorum, id est, mo-  
mentum differentiarum arearum, æqualis  $\frac{AP \times BD \times m}{AB}$ ; & propterea



ob datum  $\frac{BD \times m}{AB}$  ut velocitas  $AP$ , id est, ut momentum spatii  
quod corpus ascendendo vel descendendo describit. Ideoque differe-  
rentia arearum & spatium illud, proportionalibus momentis crescen-  
tia

tia vel decrefcentia & simul incipientia vel simul evanefcentia, sunt  
proportionalia. Q. E. D.

Corol. Si longitudo, quæ oritur applicando aream  $DET$  ad lineam  
 $BD$ , dicatur  $M$ ; & longitudo alia  $V$  fumatur in ea ratione ad lon-  
gitudinem  $M$ , quam habet linea  $DA$  ad lineam  $DE$ : spatium,  
quod corpus ascensu vel descensu toto in medio resistente de-  
scribit, erit ad spatium, quod corpus in medio non resistente e-  
quiete cadendo eodem tempore describere potest, ut arearum præ-  
dictarum differentia ad  $\frac{BD \times V^2}{AB}$ : ideoque ex dato tempore datur.  
Nam spatium in medio non resistente est in duplicata ratione tem-  
poris, five ut  $V^2$ ; & ob datas  $BD$  &  $AB$  ut  $\frac{BD \times V^2}{AB}$ . Hæc area

æqualis est areæ  $\frac{DAq \times BD \times M^2}{DEq \times AB}$ , & ipsius  $M$  momentum est  $m$ ;  
& propterea hujus areæ momentum est  $\frac{DAq \times BD \times 2M \times m}{DEq \times AB}$ . Hoc  
autem momentum est ad momentum differentiarum arearum prædicta-  
rum  $DET$  &  $AbNK$ , viz. ad  $\frac{AP \times BD \times m}{AB}$ , ut  $\frac{DAq \times BD \times M}{DEq}$

ad  $\frac{1}{2}BD \times AP$ , five ut  $\frac{DAq}{DEq}$  in  $DET$  ad  $DAP$ ; ideoque, ubi areæ  
 $DET$  &  $DAP$  quam minimæ sunt, in ratione æqualitatis. Area  
igitur  $\frac{BD \times V^2}{AB}$ , & differentia arearum  $DET$  &  $AbNK$ , quando  
omnes hæ areæ quam minimæ sunt, æqualia habent momenta; ideo-  
que sunt æquales. Unde cum velocitates, & propterea etiam spatia  
in medio utroque in principio descensus vel fine ascensus simul de-  
scripta accedant ad æqualitatem; ideoque tunc sint ad invicem  
ut area  $\frac{BD \times V^2}{AB}$ , & arearum  $DET$  &  $AbNK$  differentia; & præ-

terea cum spatium in medio non resistente sit perpetuo ut  $\frac{BD \times V^2}{AB}$ ,  
& spatium in medio resistente sit perpetuo ut arearum  $DET$  &  
 $AbNK$  differentia: necesse est, ut spatia in medio utroque, in æqua-  
libus quibuscunque temporibus descripta, sint ad invicem ut area  
N n illa



Scholium.

Resistentia corporum sphaericorum in fluidis oritur partim ex tenacitate, partim ex frictione, & partim ex densitate medii. Et resistentiæ partem illam, quæ oritur ex densitate fluidi diximus esse in duplicata ratione velocitatis; pars altera, quæ oritur ex tenacitate fluidi, est uniformis, sive ut momentum temporis: ideoque jam pergere liceret ad motum corporum, quibus resistitur partim vi uniformi seu in ratione momentorum temporis, & partim in ratione duplicata velocitatis. Sed sufficit aditum patefecisse ad hanc speculationem in propositionibus VIII. & IX. quæ præcedunt, & eorum corollariis. In iisdem utique pro corporis ascendente resistentia uniformi, quæ ex ejus gravitate oritur, substitui potest resistentia uniformis, quæ oritur ex tenacitate medii, quando corpus sola vi insita movetur; & corpore recta ascendente addere licet hanc uniformem resistentiam vi gravitatis; eandemque subducere, quando corpus recta descendit. Pergere etiam liceret ad motum corporum, quibus resistitur partim uniformiter, partim in ratione velocitatis, & partim in ratione duplicata velocitatis. Et viam aperui in propositionibus præcedentibus XIII. & XIV. in quibus etiam resistentia uniformis, quæ oritur ex tenacitate medii pro vi gravitatis substitui potest, vel cum eadem, ut prius, componi. Sed propero ad alia.

#### SECTIO IV.

De corporum circulari motu in mediis resistentibus.

#### LEMMA III.

Sit  $PQR$  spiralis quæ secet radios omnes  $SP, SQ, SR$ , &c. in æqualibus angulis. Agatur recta  $PT$  quæ tangat eandem in puncto quovis  $P$ , secetque radium  $SQ$  in  $T$ ; & ad spiralem erectis perpendicularis  $PO, QO$  concurrentibus in  $O$ , jun-

$O$ , jungatur  $SO$ . Dico quod si puncta  $P$  &  $Q$  accedant ad invicem & coeant, angulus  $PSO$  evadet rectus, & ultima ratio reſt anguli  $TQ \times 2PS$  ad  $PQ$  quad. erit ratio æqualitatis.

Etenim de angulis rectis  $OPQ, OQR$  subducantur anguli æquales  $SPQ, SQR$ , & manebunt anguli æquales  $OPS, OQS$ . Ergo circulus qui transit per puncta  $O, S, P$  transibit etiam per punctum  $Q$ . Coeant puncta  $P$  &  $Q$ , & hic circulus in loco coitus  $PQ$  tanget spiralem, ideoque perpendiculariter secabit rectam  $OP$ . Fiet igitur  $OP$  diameter circuli hujus, & angulus  $OSP$  in semicirculo rectus. Q. E. D.

Ad  $OP$  demittantur perpendiculara  $QD, SE$ , & linearum rationes ultimæ erunt hujusmodi:  $TQ$  ad  $PD$  ut  $TS$  vel  $PS$  ad  $PE$ , seu  $2PO$  ad  $2PS$ ; item  $PD$  ad  $PQ$  ut  $PQ$  ad  $2PO$ ; & ex æquo perturbate  $TQ$  ad  $PQ$  ut  $PQ$  ad  $2PS$ . Unde fit  $PQq$  æquale  $TQ \times 2PS$ . Q. E. D.

#### PROPOSITIO XV. THEOREMA XII.

Si medii densitas in locis singulis sit reciproce ut distantia locorum a centro immobili, sitque vis centripeta in duplicata ratione densitatis: dico quod corpus gyrari potest in spirali, quæ radios omnes a centro illo ductos intersecat in angulo dato.

Ponantur quæ in superiore lemmate, & producat  $SQ$  ad  $V$ , ut sit  $SV$  æqualis  $SP$ . Tempore quovis, in medio resistente, describat corpus arcum quam minimum  $PQ$ , & tempore duplo arcum quam minimum  $PR$ ; & decrementsa horum arcuum ex resistentia oriunda, sive defectus ab arcubus, qui in medio non resistente iisdem temporibus

N n 2

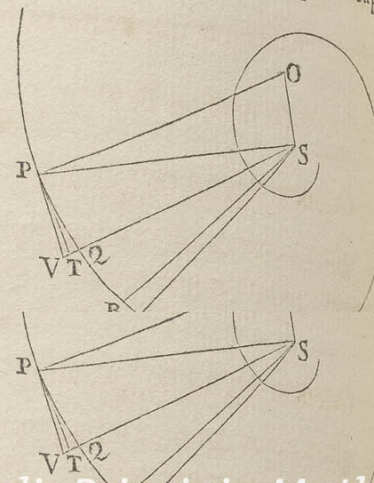
temporibus



276 PHILOSOPHIÆ NATURALIS

DE MOTU  
CORPORUM

temporibus describerentur, erunt ad invicem ut quadrata temporum in quibus generantur: Est itaque decrementum arcus  $PQ$  pars quarta decrementi arcus  $PR$ . Unde etiam, si area  $PSQ$  æqualis capiatur area  $Qsr$ , erit decrementum arcus  $PQ$  æquale dimidio lineolæ  $Rr$ ; ideoque vis resistentiæ & vis centripeta sunt ad invicem ut lineolæ  $\frac{1}{2}Rr$  &  $TQ$  quas simul generant. Quoniam vis centripeta, qua corpus urgetur in  $P$ , est reciproce ut  $SPq$ , & (per lem. x. lib. 1. lineolæ  $TQ$  æquæ vis illæ lineolæ  $\frac{1}{2}Rr$  &  $TQ$  quas simul generant. Quoniam vis centripeta, qua corpus urgetur in  $P$ , est reciproce ut  $SPq$ , & (per lem. x.



PRINCIPIA MATHEMATICA. 277

LIBER.  
SECUNDUS.

ad  $\frac{1}{2}VQ$  ut  $OP$  ad  $\frac{1}{2}OS$ . Est igitur  $\frac{OS}{OP \times SPq}$  ut resistentia, id est, in ratione densitatis medii in  $P$  & ratione duplicata velocitatis conjunctim. Auferatur duplicata ratio velocitatis, nempe ratio  $\frac{1}{SP}$ , & manebit medii densitas in  $P$  ut  $\frac{OS}{OP \times SP}$ . Detur spiralis, & ob datam rationem  $OS$  ad  $OP$ , densitas medii in  $P$  erit ut  $\frac{1}{SP}$ . In medio igitur cujus densitas est reciproce ut distantia a centro  $SP$ , coordinari potest in hac spirali. Q. E. D.

manebit medii densitas in  $P$  ut  $\frac{OS}{OP \times SP}$ . Detur spiralis, & ob datam rationem  $OS$  ad  $OP$ , densitas medii in  $P$  erit ut  $\frac{1}{SP}$ . In medio igitur cujus densitas est reciproce ut distantia a centro  $SP$ , coordinari potest in hac spirali. Q. E. D.

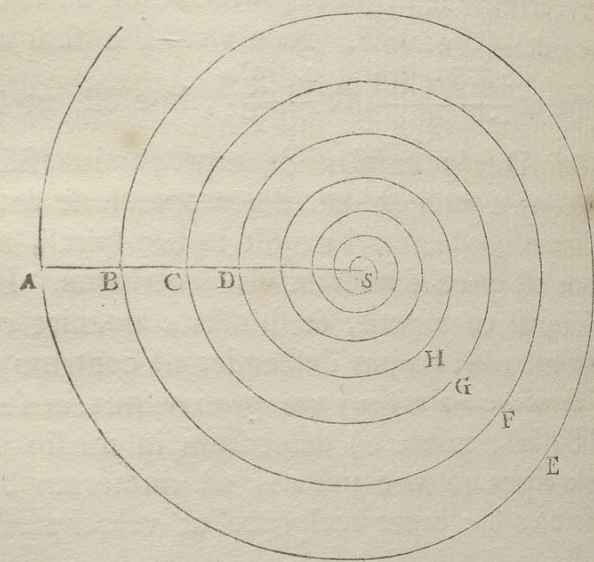


$OS$ ; tempus descensus in spirali erit ad tempus descensus in recta  $SP$  in eadem illa data ratione, proindeque datur.

*Corol. 6.* Si centro  $S$  intervallis duobus quibuscunque datis describantur duo circuli; & manentibus hisce circulis, mutetur utcumque angulus quem spiralis continet cum radio  $PS$ : numerus revolutionum quas corpus intra circulorum circumferentias, pergendo in spirali a circumferentia ad circumferentiam, complere potest, est ut  $PS$   $OS$ , sive ut tangens anguli illius quem spiralis continet cum radio

$PS$ ; tempus vero revolutionum earundem ut  $\frac{OP}{OS}$ , id est, ut secans anguli ejusdem, vel etiam reciproce ut medii densitas.

*Corol. 7.* Si corpus in medio, cujus densitas est reciproce ut distantia locorum a centro, revolutionem in curva quacunque  $AEB$  circa centrum illud fecerit, & radium primum  $AS$  in eodem angulo secuerit in  $B$  quo prius in  $A$ , idque cum velocitate quæ fuerit ad velocitatem suam primam in  $A$  reciproce in subduplicata ratione distantiarum a centro (id est, ut  $AS$  ad mediam proportionalem inter  $AS$



&  $BS$ ) corpus illud perget innumeras consimiles revolutiones  $BFC$ ,  $CGD$ , &c. facere, & intersectionibus distinguet radium  $AS$  in partes  $AS$ ,  $BS$ ,  $CS$ ,  $DS$ , &c. continue proportionales. Revolutionum vero

vero tempora erunt ut perimetri orbitarum  $AEB$ ,  $BFC$ ,  $CGD$ , &c. directe, & velocitates in principiis  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , inverse; id est, ut  $AS^{\frac{1}{2}}$ ,  $BS^{\frac{1}{2}}$ ,  $CS^{\frac{1}{2}}$ . Atque tempus totum, quo corpus perveniet ad centrum, erit ad tempus revolutionis primæ, ut summa omnium continue proportionalium  $AS^{\frac{1}{2}}$ ,  $BS^{\frac{1}{2}}$ ,  $CS^{\frac{1}{2}}$ , pergentium in infinitum, ad terminum primum  $AS^{\frac{1}{2}}$ ; id est, ut terminus ille primus  $AS^{\frac{1}{2}}$  ad differentiam duorum primorum  $AS^{\frac{1}{2}} - BS^{\frac{1}{2}}$ , sive ut  $\frac{1}{2}AS$  ad  $AB$  quam proxime. Unde tempus illud totum expedite invenitur.

*Corol. 8.* Ex his etiam præter propter colligere licet motus corporum in mediis, quorum densitas aut uniformis est, aut aliam quamcunque legem assignatam observat. Centro  $S$ , intervallis continue proportionalibus  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$ , &c. describe circulos quoscunque, & statue tempus revolutionum inter perimetros duorum quorumvis ex his circulis, in medio de quo egimus, esse ad tempus revolutionum inter eosdem in medio proposito, ut medii propositi densitas mediocris inter hos circulos ad medii, de quo egimus, densitatem mediocrem inter eosdem quam proxime: Sed & in eadem quoque ratione esse secantem anguli quo spiralis præfinita, in medio de quo egimus, secat radium  $AS$ , ad secantem anguli quo spiralis nova secat radium eundem in medio proposito: Atque etiam ut sunt eorundem angulorum tangentes ita esse numeros revolutionum omnium inter circulos eosdem duos quam proxime. Si hæc fiant passim inter circulos binos, continuabitur motus per circulos omnes. Atque hoc pacto haud difficile imaginari possumus quibus modis ac temporibus corpora in medio quocunque regulari gyrari debebunt.

*Corol. 9.* Et quamvis motus excentrici in spiraliibus ad formam ovalium accedentibus peragantur; tamen concipiendo spiraliū illarum singulas revolutiones iisdem ab invicem intervallis distare, iisdemque gradibus ad centrum accedere cum spirali superius descripta, intelligemus etiam quomodo motus corporum in hujusmodi spiraliibus peragantur.

PROPO.



## PROPOSITIO XVI. THEOREMA XIII.

*Si medii densitas in locis singulis sit reciproce ut distantia locorum a centro immobili, sitque vis centripeta reciproce ut dignitas quælibet ejusdem distantiae: dico quod corpus gyra-  
ri potest in spirali quæ radios omnes a centro illo ductos in-  
tersecat in angulo dato.*

Demonstratur eadem methodo cum propositione superiore. Nam si vis centripeta in  $P$  sit reciproce ut distantiae  $SP$ , dignitas quælibet  $SP^{n+1}$  cujus index est  $n+1$ : colligetur ut supra, quod tempus, quo corpus describit arcum quem vis  $PQ$  erit ut  $PQ \times PS^{\frac{1}{n}}$ ; & resistentia in  $P$  ut  $\frac{Rr}{PQ \times SP^n}$ ,

sive ut  $\frac{1-\frac{1}{n} \times VQ}{PQ \times SP^n \times SQ}$ , ideoque ut  $\frac{1-\frac{1}{n} \times OS}{OP \times SP^{n+1}}$ , hoc est, ob datum  $\frac{1-\frac{1}{n} \times OS}{OP}$ , reciproce ut  $SP^{n+1}$ . Et propterea, cum velocitas sit

reciproce ut  $SP^{\frac{1}{n}}$ , densitas in  $P$  erit reciproce ut  $SP$ .

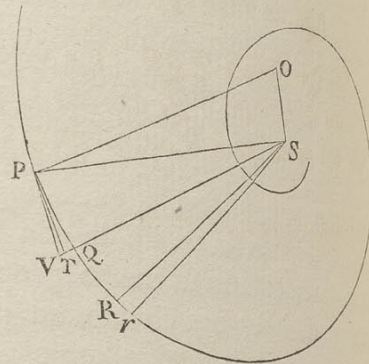
*Corol. 1.* Resistentia est ad vim centripetam ut  $1-\frac{1}{n} \times OS$  ad  $OP$ .

*Corol. 2.* Si vis centripeta sit reciproce ut  $SP^3$  erit  $1-\frac{1}{n}=0$ ; ideoque resistentia & densitas medii nulla erit, ut in propositione nona libri primi.

*Corol. 3.* Si vis centripeta sit reciproce ut dignitas aliqua radii  $SP$  cujus index est major numero 3, resistentia affirmativa in negativam mutabitur.

*Scholium.*

Cæterum hæc propositio & superiores, quæ ad media inæqualiter densa spectant, intelligendæ sunt de motu corporum adeo parvorum, ut

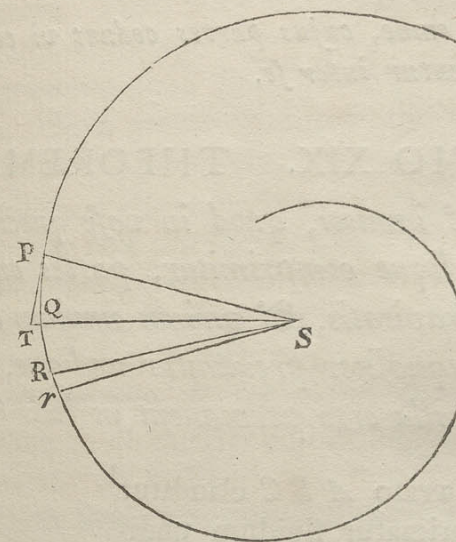


ut medii ex uno corporis latere major densitas quam ex altero non consideranda veniat. Resistentiam quoque cæteris paribus densitati proportionalem esse suppono. Unde in mediis, quorum vis resistenti non est ut densitas, debet densitas eo usque augeri vel diminui, ut resistentiæ vel tollatur excessus vel defectus suppleatur.

## PROPOSITIO XVII. PROBLEMA IV.

*Invenire vim centripetam & medii resistentiam, qua corpus in data spirali, data velocitatis lege, revolvi potest.*

Sit spiralis illa  $PQR$ . Ex velocitate, qua corpus percurrit arcum quam minimum  $PQ$ , dabitur tempus, & ex altitudine  $TQ$ , quæ est ut vis centripeta & quadratum temporis, dabitur vis. Deinde ex



arearum, æqualibus temporum particulis confectarum  $PSQ$  &  $QSR$ , differentia  $RSr$ , dabitur corporis retardatio, & ex retardatione invenietur resistentia ac densitas medii.

## PROPOSITIO XVIII. PROBLEMA V.

*Data lege vis centripetæ, invenire medii densitatem in locis singulis, qua corpus datam spiralem describet.*

Ex vi centripeta invenienda est velocitas in locis singulis, deinde

O o

ex



ex velocitatis retardatione quærenda mediæ densitas; ut in propositione superiore.

Methodum vero tractandi hæc problemata aperui in hujus propositione decima, & lemmate secundo; & lectorem in hujusmodi perplexis disquisitionibus diutius detinere nolo. Addenda jam sunt aliqua de viribus corporum ad progrediendum, deque densitate & resistentia mediorum, in quibus motus hæctenus expositi & his affines peraguntur.

## SECTIO V.

*De densitate & compressione fluidorum, deque hydrostatica.*

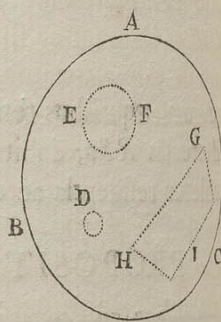
## Definitio Fluidi.

*Fluidum est corpus omne, cujus partes cedunt vi cuicunque illate, & cedendo facile moventur inter se.*

## PROPOSITIO XIX. THEOREMA XIV.

*Fluidi homogenei & immoti, quod in vase quocunque immoto claudatur & undique comprimitur, partes omnes (seposita condensationis, gravitatis, & virium omnium centripetarum consideratione) æqualiter premuntur undique, & sine omni motu a pressione illa orto permanent in locis suis.*

*Cas. 1.* In vase sphærico *ABC* claudatur & uniformiter comprimitur fluidum undique: dico quod ejusdem pars nulla ex illa pressione movebitur. Nam si pars aliqua *D* moveatur, necesse est ut omnes hujusmodi partes, ad eandem a centro distantiam undique consistentes, simili motu simul moveantur; atque hoc ideo quia similis & æqualis est omnium pressio, & motus omnis exclusus supponitur, nisi qui a pressione illa oriatur. Atqui non possunt omnes ad centrum propius accedere, nisi fluidum ad centrum condensetur;



densetur; contra hypothesin. Non possunt longius ab eo recedere, nisi fluidum ad circumferentiam condensetur; etiam contra hypothesin. Non possunt servata sua a centro distantia moveri in plagam quancunque, quia pari ratione movebuntur in plagam contrariam; in plagas autem contrarias non potest pars eadem, eodem tempore, moveri. Ergo fluidi pars nulla de loco suo movebitur. *Q. E. D.*

*Cas. 2.* Dico jam, quod fluidi hujus partes omnes sphæricæ æqualiter premuntur undique. Sit enim *EF* pars sphærica fluidi, & si hæc undique non premitur æqualiter, augeatur pressio minor, usque dum ipsa undique prematur æqualiter; & partes ejus, per casum primum, permanebunt in locis suis. Sed ante auctam pressionem permanebunt in locis suis, per casum eundem primum, & additione pressionis novæ movebuntur de locis suis, per definitionem fluidi. Quæ duo repugnant. Ergo falso dicebatur quod sphæra *EF* non undique premebatur æqualiter. *Q. E. D.*

*Cas. 3.* Dico præterea quod diversarum partium sphæricarum æqualis sit pressio. Nam partes sphæricæ contiguæ se mutuo premunt æqualiter in puncto contactus, per motus legem III. Sed & per casum secundum, undique premuntur eadem vi. Partes igitur duæ quævis sphæricæ non contiguæ, quia pars sphærica intermedia tangere potest utramque, prementur eadem vi. *Q. E. D.*

*Cas. 4.* Dico jam quod fluidi partes omnes ubique premuntur æqualiter. Nam partes duæ quævis tangi possunt a partibus sphæricis in punctis quibuscunque, & ibi partes illas sphæricas æqualiter premunt, per casum 3. & vicissim ab illis æqualiter premuntur, per motus legem tertiam. *Q. E. D.*

*Cas. 5.* Cum igitur fluidi pars quælibet *GHI* in fluido reliquo tanquam in vase claudatur, & undique prematur æqualiter, partes autem ejus se mutuo æqualiter premant & quiescant inter se; manifestum est quod fluidi cujuscunque *GHI*, quod undique premitur æqualiter, partes omnes se mutuo premunt æqualiter, & quiescunt inter se. *Q. E. D.*

*Cas. 6.* Igitur si fluidum illud in vase non rigido claudatur, & undique non prematur æqualiter; cedit idem pressioni fortiori, per definitionem fluiditatis.

*Cas. 7.* Ideoque in vase rigido fluidum non sustinebit pressionem  
O o 2 forti-



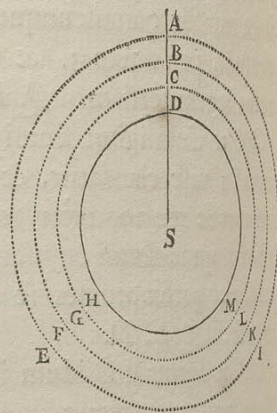
fortiorem ex uno latere quam ex alio, sed eidem cedit, idque in momento temporis, quia latus vasis rigidum non persequitur liquorem cedentem. Cedendo autem urgebit latus oppositum, & sic pressio undique ad æqualitatem verget. Et quoniam fluidum, quam præteriam vasis ad latus oppositum; reducetur pressio undique ad æqualitatem, in momento temporis, sine motu locali: & subinde partes fluidi, per casum quintum, se mutuo prement æqualiter, & quiet cent inter se. *Q. E. D.*

*Corol.* Unde nec motus partium fluidi inter se, per pressionem fluido ubivis in externa superficie illatam, mutari possunt, nisi quatenus aut figura superficiæ alicubi mutatur, aut omnes fluidi partes intensius vel remissius sese premendo difficiliter vel facilius labuntur inter se.

## PROPOSITIO XX. THEOREMA XV.

*Si fluidi sphaerici, & in æqualibus a centro distantibus homogenei, fundo sphaerico concentrico incumbens partes singulas versus centrum totius gravitent; sustinet fundum pondus cylindri, cujus basis æqualis est superficiæ fundi, & altitudo eadem quæ fluidi incumbens.*

Sit *DHM* superficies fundi, & *AET* superficies superior fluidi. Superficiebus sphaericis innumeris *BFK*, *CGL* distinguatur fluidum in orbes concentricos æqualiter crassos; & concipe vim gravitatis agere solummodo in superficie superiore orbis cujusque, & æquales esse actiones in æquales partes superficierum omnium. Premitur ergo superficies suprema *AE* vi simplici gravitatis propriæ, qua & omnes orbis suppremi partes & superficies secunda *BFK* (per prop. xix.) pro mensura sua æqualiter premuntur. Premitur præterea superficies secunda *BFK* vi propriæ gravitatis, quæ addita



addita vi priori facit pressionem duplam. Hac pressione, pro mensura sua, & insuper vi propriæ gravitatis, id est, pressione tripla, urgetur superficies tertia *CGL*. Et similiter pressione quadrupla urgetur superficies quarta, quintupla quinta, & sic deinceps. Pressio igitur qua superficies unaquæque urgetur, non est ut quantitas solida fluidi incumbens, sed ut numerus orbium ad usque summitatem fluidi; & æquatur gravitati orbis infimi multiplicatæ per numerum orbium: hoc est, gravitati solidi cujus ultima ratio ad cylindrum præfinitum (si modo orbium augeatur numerus & minuatur crassitudo in infinitum, sic ut actio gravitatis a superficie infima ad supremam continua reddatur) fiet ratio æqualitatis. Sustinet ergo superficies infima pondus cylindri præfiniti. *Q. E. D.* Et simili argumentatione patet propositio, ubi gravitas decrevit in ratione quavis assignata distantia a centro, ut & ubi fluidum sursum rarius est, deorsum densius. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Igitur fundum non urgetur a toto fluidi incumbens pondere, sed eam solummodo ponderis partem sustinet quæ in propositione describitur; pondere reliquo a fluidi figura fornicata sustentato.

*Corol. 2.* In æqualibus autem a centro distantibus eadem semper est pressionis quantitas, sive superficies pressa sit horizonti parallela vel perpendicularis vel obliqua; sive fluidum, a superficie pressa sursum continuatum, surgat perpendiculariter secundum lineam rectam, vel serpit oblique per tortas cavitates & canales, easque regulares vel maxime irregulares, amplas vel angustissimas. Hisce circumstantiis pressionem nil mutari colligitur, applicando demonstrationem theorematis hujus ad casus singulos fluidorum.

*Corol. 3.* Eadem demonstratione colligitur etiam (per prop. xix.) quod fluidi gravis partes nullum, ex pressione ponderis incumbens, acquirunt motum inter se; si modo excludatur motus qui ex condensatione oriatur.

*Corol. 4.* Et propterea si aliud ejusdem gravitatis specificæ corpus, quod sit condensationis expers, submergatur in hoc fluido, id ex pressione ponderis incumbens nullum acquirat motum: non descendet, non ascendet, non cogetur figuram suam mutare. Si sphaericum est manebit sphaericum, non obstante pressione; si quadratum est manebit quadratum: idque sive molle sit, sive fluidissimum; sive.



five fluido libere innatet, five fundo incumbat. Habet enim fluidi pars quælibet interna rationem corporis submersi, & par est ratio omnium ejusdem magnitudinis, figuræ & gravitatis specificæ submersorum corporum. Si corpus submersum servato pondere liquefceret & indueret formam fluidi; hoc, si prius ascenderet vel descenderet vel ex pressione figuram novam indueret, etiam nunc ascenderet vel descenderet vel figuram novam induere cogeretur: id adeo quia gravitas ejus cæteræque motuum causæ permanent. Atqui (per cas. 5. prop. xix.) jam quiesceret & figuram retineret. Ergo & prius.

*Corol. 5.* Proinde corpus quod specificè gravius est quam fluidum sibi contiguum subsidebit, & quod specificè levius est ascendet, motumque & figuræ mutationem consequetur, quantum excessus ille vel defectus gravitatis efficere possit. Namque excessus ille vel defectus rationem habet impulsus, quo corpus, alias in æquilibrio cum fluidi partibus constitutum, urgetur; & comparari potest cum excessu vel defectu ponderis in lance alterutra libræ.

*Corol. 6.* Corporum igitur in fluidis constitutorum duplex est gravitas: altera vera & absoluta, altera apparens, vulgaris & comparativa. Gravitas absoluta est vis tota qua corpus deorsum tendit: relativa & vulgaris est excessus gravitatis quo corpus magis tendit deorsum quam fluidum ambiens. Prioris generis gravitate partes fluidorum & corporum omnium gravitant in locis suis: ideoque conjunctis ponderibus componunt pondus totius. Nam totum omne grave est, ut in vasis liquorum plenis experiri licet; & pondus totius æquale est ponderibus omnium partium, ideoque ex iisdem componitur. Alterius generis gravitate corpora non gravitant in locis suis, id est, inter se collata non prægravant, sed mutuos ad descendendum conatus impediunt permanent in locis suis, perinde ac si gravia non essent. Quæ in aëre sunt & non prægravant, vulgus gravia non judicat. Quæ prægravant vulgus gravia judicat, quatenus ab aëris pondere non sustinentur. Pondera vulgi nihil aliud sunt quam excessus verorum ponderum supra pondus aëris. Unde & vulgo dicuntur levia, quæ sunt minus gravia, aërique prægravanti cedendo superiora petunt. Comparative levia sunt, non vere, quia descendunt in vacuo. Sic & in aqua corpora, quæ ob majorem vel minorem gravitatem descendunt vel ascendent, sunt comparative & appa-

apparenter gravia vel levia, & eorum gravitas vel levitas comparativa & apparens est excessus vel defectus quo vera eorum gravitas vel superat gravitatem aquæ vel ab ea superatur. Quæ vero nec prægravando descendunt, nec prægravanti cedendo ascendent, etiam si veris suis ponderibus adaugeant pondus totius, comparative tamen & in sensu vulgi non gravitant in aqua. Nam similis est horum casuum demonstratio.

*Corol. 7.* Quæ de gravitate demonstrantur, obtinent in aliis quibuscunque viribus centripetis.

*Corol. 8.* Proinde si medium, in quo corpus aliquod movetur, urgeatur vel a gravitate propria, vel ab alia quacunque vi centripeta, & corpus ab eadem vi urgeatur fortius; differentia virium est vis illa motrix, quam in præcedentibus propositionibus ut vim centripetam consideravimus. Sin corpus a vi illa urgeatur levius, differentia virium pro vi centrifuga haberi debet.

*Corol. 9.* Cum autem fluida premendo corpora inclusa non mutant eorum figuras externas, patet insuper (per corollarium prop. xix.) quod non mutant situm partium internarum inter se: proindeque, si animalia immergantur, & sensatio omnis a motu partium oriatur; nec lædent corpora immersa, nec sensationem ullam excitabunt, nisi quatenus hæc corpora a compressione condensari possunt. Et par est ratio cujuscunque corporum systematis fluido comprimente circumdati. Systematis partes omnes iisdem agitantur motibus, ac si in vacuo constituerentur, ac solam retinerent gravitatem suam comparativam, nisi quatenus fluidum vel motibus earum nonnihil resistat, vel ad eandem compressionem conglutinandas requiratur.

## PROPOSITIO XXI. THEOREMA XVI.

*Sit fluidi cujusdam densitas compressioni proportionalis, & partes ejus a vi centripeta distantis suis a centro reciproce proportionali deorsum trahantur: dico quod, si distantie illæ sumantur continue proportionales, densitates fluidi in iisdem distantis erunt etiam continue proportionales.*

Designet *ATV* fundum sphaericum cui fluidum incumbit, *S* centrum, *SA, SB, SC, SD, SE, SF,* &c. distantias continue proportionales.

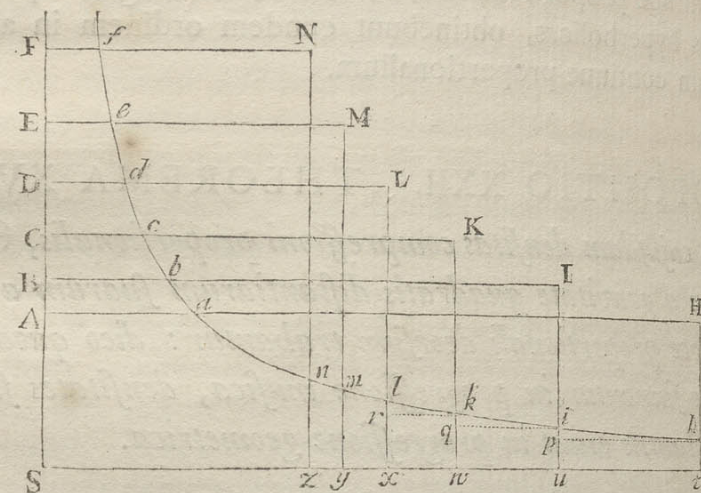






DE MOTU  
CORPORUM

num  $\frac{AH}{SA}, \frac{BI}{SB}, \frac{CK}{SC}$ , &c. Quare cum densitates sint ut harum pres-  
sionum summæ, differentiæ densitatum  $AH-BI, BI-CK$ , &c.  
erunt ut summarum differentiæ  $\frac{AH}{SA}, \frac{BI}{SB}, \frac{CK}{SC}$ , &c. Centro  $S$ , asym-  
ptotis  $SA, SX$  describatur hyperbola quævis, quæ secet perpendi-  
cula  $AH, BI, CK$ , &c. in  $a, b, c$ , &c. ut & perpendiculara ad asymp-  
ton  $SX$  demissa  $Ht, Iu, Kw$  in  $b, i, k$ ; & densitatum differentiæ  
 $tu, uw$ , &c. erunt ut  $\frac{AH}{SA}, \frac{BI}{SB}$ , &c. Et rectangula  $tu \times tb, uw \times ui$ ,  
&c. seu  $tp, uq$ , &c. ut  $\frac{AH \times tb}{SA}, \frac{BI \times ui}{SB}$ , &c. id est, ut  $Aa, Bb$ ,  
&c. Est enim, ex natura hyperbolæ,  $SA$  ad  $AH$  vel  $St$ , ut  $tb$  ad  
 $Aa$ , ideoque  $\frac{AH \times tb}{SA}$  æquale  $Aa$ . Et simili argumento est  $\frac{BI \times ui}{SB}$



æquale  $Bb$ , &c. Sunt autem  $Aa, Bb, Cc$ , &c. continue proportionales,  
& propterea differentiis suis  $Aa-Bb, Bb-Cc$ , &c. proportionales;  
ideoque differentiis hisce proportionalia sunt rectangula  $tp, uq$ , &c.  
ut & summis differentiarum  $Aa-Cc$  vel  $Aa-Dd$  summæ rectan-  
gulorum  $tp+uq$  vel  $tp+uq+wr$ . Sunt ejusmodi termini quam  
plurimi, & summa omnium differentiarum, puta  $Aa-Ff$ , erit sum-  
mæ omnium rectangulorum, puta  $ztbn$ , proportionalis. Augeatur  
numerus terminorum & minuantur distantie punctorum  $A, B, C$ ,  
&c.

&c. in infinitum, & rectangula illa evadent æqualia area hyperboli-  
cæ  $ztbn$ , ideoque huic area proportionalis est differentia  $Aa-Ff$ .  
Sumantur jam distantie quælibet, puta  $SA, SD, SF$  progressionem  
arithmetica, & differentiæ  $Aa-Dd, Dd-Ff$  erunt æquales; & prop-  
terea differentiis hisce proportionales areae  $tblx, xlnz$  æquales  
erunt inter se, & densitates  $St, Sx, Sz$ , id est,  $AH, DL, FN$ ,  
continue proportionales. Q. E. D.  
Corol. Hinc si dentur fluidi densitates duæ quævis, puta  $AH$  &  
 $BI$ , dabitur area  $tbhu$ , harum differentiæ  $tu$  respondens; & inde  
invenietur densitas  $FN$  in altitudine quacunque  $SF$ , fumendo are-  
am  $tbhz$  ad aream illam datam  $tbhu$  ut est differentia  $Aa-Ff$  ad  
differentiam  $Aa-Bb$ .

Scholium.

Simili argumentatione probari potest, quod si gravitas particula-  
rum fluidi diminuatur in triplicata ratione distantiarum a centro,  
& quadratorum distantiarum  $SA, SB, SC$ , &c. reciproca (nempe  
 $\frac{SA \text{ cub.}}{SAq}, \frac{SB \text{ cub.}}{SBq}, \frac{SC \text{ cub.}}{SCq}$ ) sumantur in progressionem arithmetica;  
densitates  $AH, BI, CK$ , &c. erunt in progressionem geometrica.  
Et si gravitas diminuatur in quadruplicata ratione distantiarum, &  
cuborum distantiarum reciproca (puta  $\frac{SAqq}{SA \text{ cub.}}, \frac{SBqq}{SB \text{ cub.}}, \frac{SCqq}{SC \text{ cub.}}$ , &c.)  
sumantur in progressionem arithmetica; densitates  $AH, BI, CK$ , &c.  
erunt in progressionem geometrica. Et sic in infinitum. Rursus si  
gravitas particularum fluidi in omnibus distantis eadem sit, & di-  
stantiæ sint in progressionem arithmetica, densitates erunt in progref-  
sione geometrica, uti Vir Cl. Edmundus Halleus invenit. Si gra-  
vitas sit ut distantia, & quadrata distantiarum sint in progressionem  
arithmetica, densitates erunt in progressionem geometrica. Et sic in  
infinitum. Hæc ita se habent ubi fluidi compressione condensati  
densitas est ut vis compressionis, vel, quod perinde est, spatium a  
fluido occupatum reciproce ut hæc vis. Fingi possunt aliæ conden-  
sationis leges, ut quod cubus vis comprimantis sit ut quadrato qua-  
dratum densitatis, seu triplicata ratio vis eadem cum quadruplicata ra-  
tione densitatis. Quo in casu, si gravitas est reciproce ut quadratum  
distantiæ a centro, densitas erit reciproce ut cubus distantie. Fin-  
gatur



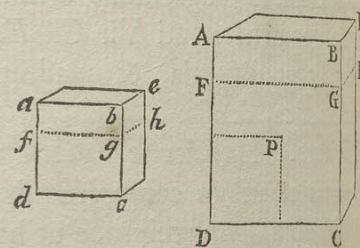
gatur quod cubus vis comprimentis sit ut quadrato-cubus densitas, & si gravitas est reciproce ut quadratum distantiae, densitas erit reciproce in sesquuplicata ratione distantiae. Fingatur quod vis comprimens sit in duplicata ratione densitatis, & gravitas reciproce in ratione duplicata distantiae, & densitas erit reciproce ut distantia. Casus omnes percurrere longum esset. Cæterum per experimenta constat quod densitas aëris sit ut vis comprimens vel accurate vel saltem quam proxime: & propterea densitas aëris in atmosphæra terræ est ut pondus aëris totius incumbentis, id est, ut altitudo mercurii in barometro.

## PROPOSITIO XXIII. THEOREMA XVIII.

*Si fluidi ex particulis se mutuo fugientibus compositi densitas sit ut compressio, vires centrifugæ particularum sunt reciproce proportionales distantis centrorum suorum. Et vice versa, particule viribus quæ sunt reciproce proportionales distantis centrorum suorum se mutuo fugientes componunt fluidum elasticum, cujus densitas est compressioni proportionalis.*

Includi intelligatur fluidum in spatio cubico  $ACE$ , dein compressione redigi in spatium cubicum minus  $ace$ ; & particularum, similem situm inter se in utroque spatio obtinentium, distantiae erunt ut cuborum latera  $AB, ab$ ; & mediorum densitates reciproce ut spatia continentia  $AB\ cub.$  &  $ab\ cub.$  In cubi majoris latere plano  $ABCD$  capiatur quadratum  $DP$  æquale lateri plano cubi minoris  $ab$ ; & ex hypothesi, pressio, qua quadratum  $DP$  urget fluidum inclusum, erit ad pressionem, qua illud quadratum  $db$  urget fluidum inclusum, ut medii densitates ad invicem, hoc est, ut  $ab\ cub.$  ad  $AB\ cub.$

Sed pressio, qua quadratum  $DB$  urget fluidum inclusum, est ad pressionem, qua quadratum  $DP$  urget idem fluidum, ut quadratum  $DB$  ad quadratum  $DP$ , hoc est, ut  $AB\ quad.$  ad  $ab\ quad.$  Ergo,



ex æquo, pressio qua quadratum  $DB$  urget fluidum, est ad pressionem qua quadratum  $db$  urget fluidum, ut  $ab$  ad  $AB$ . Planis  $FGH, fgh$ , per media cuborum ductis, distinguatur fluidum in duas partes, & hæc se mutuo prement iisdem viribus, quibus premuntur a planis  $AC, ac$ , hoc est, in proportionem  $ab$  ad  $AB$ : ideoque vires centrifugæ, quibus hæc pressiones sustententur, sunt in eadem ratione. Ob eundem particularum numerum similemque situm in utroque cubo, vires quas particule omnes secundum plana  $FGH, fgh$  exercent in omnes, sunt ut vires quas singulæ exercent in singulas. Ergo vires, quas singulæ exercent in singulas secundum planum  $FGH$  in cubo majore, sunt ad vires, quas singulæ exercent in singulas secundum planum  $fgh$  in cubo minore, ut  $ab$  ad  $AB$ , hoc est, reciproce ut distantiae particularum ad invicem.  $\text{Q. E. D.}$

Et vice versa, si vires particularum singularum sunt reciproce ut distantiae, id est, reciproce ut cuborum latera  $AB, ab$ ; summæ virium erunt in eadem ratione, & pressiones laterum  $DB, db$  ut summæ virium; & pressio quadrati  $DP$  ad pressionem lateris  $DB$  ut  $ab\ quad.$  ad  $AB\ quad.$  Et, ex æquo, pressio quadrati  $DP$  ad pressionem lateris  $db$  ut  $ab\ cub.$  ad  $AB\ cub.$  id est, vis compressionis ad vim compressionis ut densitas ad densitatem.  $\text{Q. E. D.}$

## Scholium.

Simili argumento, si particularum vires centrifugæ sint reciproce in duplicata ratione distantiarum inter centra, cubi virium comprimentium erunt ut quadrato-quadrata densitatum. Si vires centrifugæ sint reciproce in triplicata vel quadruplicata ratione distantiarum, cubi virium comprimentium erunt ut quadrato-cubi vel cubo-cubi densitatum. Et universaliter, si  $D$  ponatur pro distantia, &  $E$  pro densitate fluidi compressi, & vires centrifugæ sint reciproce ut distantiae dignitas quælibet  $D^n$ , cujus index est numerus  $n$ ; vires comprimentes erunt ut latera cubica dignitatis  $E^{n+2}$ , cujus index est numerus  $n+2$ : & contra. Intelligenda vero sunt hæc omnia de particularum viribus centrifugis quæ terminantur in particulis proximis, aut non longe ultra diffunduntur. Exemplum habemus in corporibus magneticis. Horum virtus attractiva terminatur fere in sui generis corporibus sibi proximis. Magnetis virtus per interpositam laminam



laminam ferri contrahitur, & in lamina fere terminatur. Nam corpora ulteriora non tam a magnete quam a lamina trahuntur. Ad eundem modum si particulae fugant alias sui generis particulas sibi proximas, in particulas autem remotiores virtutem nullam exercent, ex hujusmodi particulis componentur fluida de quibus actum est in hac propositione. Quod si particulae cujusque virtus in infinitum propagetur, opus erit vi majori ad æqualem condensationem majoris quantitatis fluidi. An vero fluida elastica ex particulis se mutuo fugantibus constent, quæstio physica est. Nos proprietatem fluidorum ex ejusmodi particulis constantium mathematicè demonstravimus, ut philosophis ansam præbeamus quæstionem illam tractandi.

SECTIO VI.

*De motu & resistentia corporum funependulorum.*

PROPOSITIO XXIV. THEOREMA XIX.

*Quantitates materiæ in corporibus funependulis, quorum centra oscillationum a centro suspensionis æqualiter distant, sunt in ratione composita ex ratione ponderum & ratione duplicata temporum oscillationum in vacuo.*

Nam velocitas, quam data vis in data materia, dato tempore generare potest, est ut vis & tempus directe, & materia inverse. Quo major est vis vel majus tempus vel minor materia, eo major generabitur velocitas. Id quod per motus legem secundam manifestum est. Jam vero si pendula ejusdem sint longitudinis, vires motrices in locis a perpendiculo æqualiter distantibus sunt ut pondera: ideoque si corpora duo oscillando describant arcus æquales, & arcus illi dividantur in partes æquales; cum tempora quibus corpora describant singulas arcuum partes correspondentes sint ut tempora oscillationum totarum, erunt velocitates ad invicem in correspondentibus oscillationum partibus, ut vires motrices & tota oscillationum tempora directe & quantitates materiæ reciproce: ideoque quantitates materiæ ut vires & oscillationum tempora directe & velocitates reciproce. Sed velocitates reciproce sunt ut tempora, atque ideo

ideo tempora directe & velocitates reciproce sunt ut quadrata temporum, & propterea quantitates materiæ sunt ut vires motrices & quadrata temporum, id est, ut pondera & quadrata temporum. Q. E. D.

Corol. 1. Ideoque si tempora sunt æqualia, quantitates materiæ in singulis corporibus erunt ut pondera.

Corol. 2. Si pondera sunt æqualia, quantitates materiæ erunt ut quadrata temporum.

Corol. 3. Si quantitates materiæ æquantur, pondera erunt reciproce ut quadrata temporum.

Corol. 4. Unde cum quadrata temporum, cæteris paribus, sint ut longitudines pendulorum; si & tempora & quantitates materiæ æqualia sunt, pondera erunt ut longitudines pendulorum.

Corol. 5. Et universaliter, quantitas materiæ pendulae est ut pondus & quadratum temporis directe, & longitudo penduli inverse.

Corol. 6. Sed & in medio non resistente quantitas materiæ pendulae est ut pondus comparativum & quadratum temporis directe & longitudo penduli inverse. Nam pondus comparativum est vis motrix corporis in medio quovis gravi, ut supra explicui; ideoque idem præstat in tali medio non resistente atque pondus absolutum in vacuo.

Corol. 7. Et hinc liquet ratio tum comparandi corpora inter se, quoad quantitatem materiæ in singulis; tum comparandi pondera ejusdem corporis in diversis locis, ad cognoscendam variationem gravitatis. Factis autem experimentis quam accuratissimis inveni semper quantitatem materiæ in corporibus singulis eorum ponderi proportionalem esse.

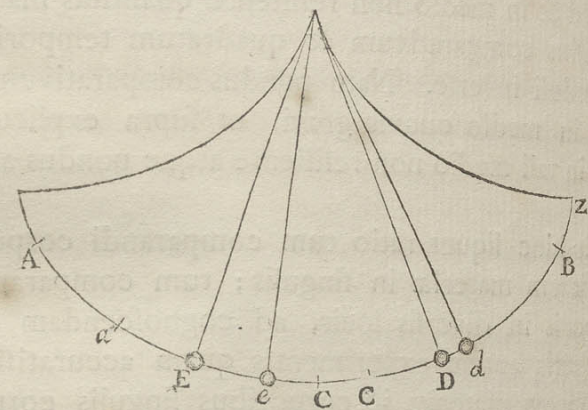
PROPOSITIO XXV. THEOREMA XX.

*Corpora Funependula quibus, in medio quovis, resistitur in ratione momentorum temporis, & corpora funependula quæ in ejusdem gravitatis specificæ medio non resistente moventur, oscillationes in cycloide eodem tempore peragunt, & arcuum partes proportionales simul describunt.*

Sit AB cycloidis arcus, quem corpus D tempore quovis in medio non resistente oscillando describit. Bifecetur idem in C, ita ut C sit infimum.



infimum ejus punctum; & erit vis acceleratrix qua corpus urgetur in loco quovis  $D$  vel  $d$  vel  $E$  ut longitudo arcus  $CD$  vel  $Cd$  vel  $CE$ . Exponatur vis illa per eundem arcum; & cum resistentia sit ut momentum temporis, ideoque detur, exponatur eadem per datam arcus cycloidis partem  $CO$ , & sumatur arcus  $Od$  in ratione ad arcum  $CD$  quam habet arcus  $OB$  ad arcum  $CB$ : & vis qua corpus in  $d$  urgetur in medio resistente, cum sit excessus vis  $Cd$  supra resistentiam  $CO$ , exponetur per arcum  $Od$ , ideoque erit ad vim, qua corpus  $D$  urgetur in medio non resistente in loco  $D$ , ut arcus  $Od$  ad arcum  $CD$ ; & propterea etiam in loco  $B$  ut arcus  $OB$  ad arcum  $CB$ . Proinde si corpora duo,  $D$ ,  $d$  exeant de loco  $B$ , & his viribus urgeantur: cum vires sub initio sint ut arcus  $CB$  &  $OB$ , erunt velocitates primæ & arcus primo descripti in eadem ratione. Sinto arcus illi  $BD$  &  $Bd$ , & arcus reliqui  $CD$ ,  $Od$  erunt in eadem ratione. Proinde vires, ipsis  $CD$ ,  $Od$  proportionales manebunt



in eadem ratione ac sub initio, & propterea corpora pergent arcus in eadem ratione simul describere. Igitur vires & velocitates & arcus reliqui  $CD$ ,  $Od$  semper erunt ut arcus toti  $CB$ ,  $OB$ , & propterea arcus illi reliqui simul describentur. Quare corpora duo  $D$ ,  $d$  simul pervenient ad loca  $C$  &  $O$ , alterum quidem in medio non resistente ad locum  $C$ , & alterum in medio resistente ad locum  $O$ . Cum autem velocitates in  $C$  &  $O$  sint ut arcus  $CB$ ,  $OB$ ; erunt arcus, quos corpora ulterius pergendo simul describunt, in eadem ratione. Sinto illi  $CE$  &  $Oe$ . Vis qua corpus  $D$  in medio non resistente retardatur in  $E$  est ut  $CE$ , & vis qua corpus  $d$  in medio resistente

resistente retardatur in  $e$  est ut summa vis  $Ce$  & resistentiæ  $CO$ , id est ut  $Oe$ ; ideoque vires, quibus corpora retardantur, sunt ut arcus  $CE$ ,  $Oe$  proportionales arcus  $CB$ ,  $OB$ ; proindeque velocitates, in data illa ratione retardatæ, manent in eadem illa data ratione. Velocitates igitur & arcus iisdem descripti semper sunt ad invicem in data illa ratione arcuum  $CB$  &  $OB$ ; & propterea si sumantur arcus toti  $AB$ ,  $aB$  in eadem ratione, corpora  $D$ ,  $d$  simul describent hos arcus, & in locis  $A$  &  $a$  motum omnem simul amittent. Isochronæ sunt igitur oscillationes totæ, & arcubus totis  $BA$ ,  $Ba$  proportionales sunt arcuum partes quælibet  $BD$ ,  $Bd$  vel  $BE$ ,  $Be$  quæ simul describuntur. *Q. E. D.*

*Corol.* Igitur motus velocissimus in medio resistente non incidit in punctum infimum  $C$ , sed reperitur in puncto illo  $O$ , quo arcus totus descriptus  $aB$  bisecatur. Et corpus subinde pergendo ad  $a$ , iisdem gradibus retardatur quibus antea accelerabatur in descensu suo a  $B$  ad  $O$ .

## PROPOSITIO XXVI. THEOREMA XXI.

*Corporum funependulorum, quibus resistitur in ratione velocitatum, oscillationes in cycloide sunt Isochrone.*

Nam si corpora duo, a centris suspensionum æqualiter distantia, oscillando describant arcus inæquales, & velocitates in arcuum partibus correspondentibus sint ad invicem ut arcus toti; resistentiæ velocitatibus proportionales, erunt etiam ad invicem ut iidem arcus. Proinde si viribus motricibus a gravitate oriundis, quæ sint ut iidem arcus, auferantur vel addantur hæ resistentiæ, erunt differentiæ vel summe ad invicem in eadem arcuum ratione: cumque velocitatum incrementa vel decrementa sint ut hæ differentiæ vel summe, velocitates semper erunt ut arcus toti: Igitur velocitates, si sint in aliquo casu ut arcus toti, manebunt semper in eadem ratione. Sed in principio motus, ubi corpora incipiunt descendere & arcus illos describere, vires, cum sint arcubus proportionales, generabunt velocitates arcubus proportionales. Ergo velocitates semper erunt ut arcus toti describendi, & propterea arcus illi simul describentur. *Q. E. D.*

Q q

PROPO.



## PROPOSITIO XXVII. THEOREMA XXII.

*Si corporibus funependulis resistitur in duplicata ratione velocitatum, differentia inter tempora oscillationum in medio resistente ac tempora oscillationum in ejusdem gravitatis specificæ medio non resistente, erunt arcus oscillando descripti proportionales quam proxime.*

Nam pendulis æqualibus in medio resistente describantur arcus inæquales A, B; & resistentia corporis in arcu A, erit ad resistentiam corporis in parte correspondente arcus B, in duplicata ratione velocitatum, id est, ut AA ad BB, quam proxime. Si resistentia in arcu B esset ad resistentiam in arcu A ut AB ad AA; tempora in arcubus A & B forent æqualia, per propositionem superiorem. Ideoque resistentia AA in arcu A, vel AB in arcu B, efficit excessum temporis in arcu A supra tempus in medio non resistente; & resistentia BB efficit excessum temporis in arcu B supra tempus in medio non resistente. Sunt autem excessus illi ut vires efficientes AB & BB quam proxime, id est, ut arcus A & B. Q. E. D.

*Corol. 1.* Hinc ex oscillationum temporibus, in medio resistente, in arcubus inæqualibus factarum, cognosci possunt tempora oscillationum in ejusdem gravitatis specificæ medio non resistente. Nam differentia temporum erit ad excessum temporis in arcu minore supra tempus in medio non resistente, ut differentia arcuum ad arcum minorem.

*Corol. 2.* Oscillationes breviores sunt magis isochronæ, & brevissimæ iisdem temporibus peraguntur ac in medio non resistente, quam proxime. Earum vero quæ in majoribus arcubus fiunt, tempora sunt paulo majora, propterea quod resistentia in descensu corporis qua tempus producit, major sit pro ratione longitudinis in descensu descriptæ, quam resistentia in ascensu subsequente qua tempus contrahitur. Sed & tempus oscillationum tam brevium quam longarum nonnihil produci videtur per motum medii. Nam corporibus tardescentibus paulo minus resistitur, pro ratione velocitatis, & corporibus acceleratis paulo magis quam iis quæ uniformiter progrediuntur: idque quia medium, eo quem a corporibus

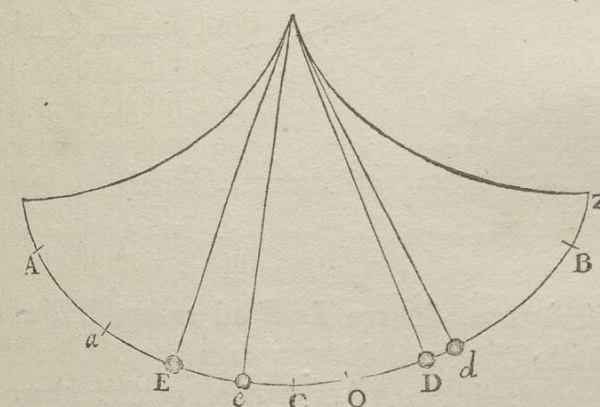
acceptit

acceptit motu, in eandem plagam pergendo, in priore casu magis agitur, in posteriore minus; ac proinde magis vel minus cum corporibus motis conspirat. Pendulis igitur in descensu magis resistit, in ascensu minus quam pro ratione velocitatis, & ex utraque causa tempus producit.

## PROPOSITIO XXVIII. THEOREMA XXIII.

*Si corpori funependulo in cycloide oscillanti resistitur in ratione momentorum temporis, erit ejus resistentia ad vim gravitatis ut excessus arcus descensu toto descripti supra arcum ascensu subsequente descriptum, ad penduli longitudinem duplicatam.*

Designet BC arcum descensu descriptum, Ca arcum ascensu descriptum, & Aa differentiam arcuum: & stantibus quæ in propositione xxv. constructa & demonstrata sunt, erit vis, qua corpus oscillans urgetur in loco quovis D, ad vim resistentiæ ut arcus CD ad arcum CO, qui semissis est differentiæ illius Aa. Ideoque vis,



qua corpus oscillans urgetur in cycloidis principio seu puncto altissimo, id est, vis gravitatis, erit ad resistentiam ut arcus cycloidis inter punctum illud supremum & punctum infimum C ad arcum CO; id est (si arcus duplicentur) ut cycloidis totius arcus, seu dupla penduli longitudo, ad arcum Aa. Q. E. D.

Q q 2

PROPO.

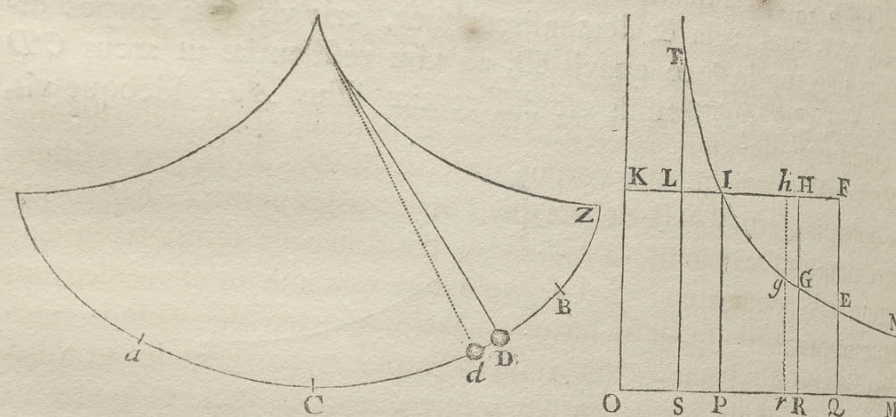
LIBER  
SECUNDUS.



## PROPOSITIO XXIX. PROBLEMA VI.

Posito quod corpori in cycloide oscillanti resistitur in duplicata ratione velocitatis: invenire resistentiam in locis singulis.

Sit  $Ba$  arcus oscillatione integra descriptus, sitque  $C$  infimum cycloidis punctum, &  $CZ$  semissis arcus cycloidis totius, longitudini penduli æqualis; & quærat resistentia corporis in loco quovis  $D$ . Secetur recta infinita  $OQ$  in punctis  $O, S, P, Q$ , ea lege, ut (si erigantur perpendiculara  $OK, ST, PI, QE$ , centroque  $O$  & asymptotis  $OK, OQ$  describatur hyperbola  $TIGE$  secans perpendiculara  $ST, PI, QE$  in  $T, I & E$ , & per punctum  $I$  agatur  $KF$  parallela asymptoto  $OQ$  occurrens asymptoto  $OK$  in  $K$ , & perpendicularis  $ST$  &  $QE$  in  $L & F$ ) fuerit area hyperbolica  $PIEQ$  ad aream hyperbolicam  $PITS$  ut arcus  $BC$  descensu corporis descriptus ad arcum



$Ca$  ascensu descriptum, & area  $IEF$  ad aream  $ILT$  ut  $OQ$  ad  $OS$ . Dein perpendiculo  $MN$  abscindatur area hyperbolica  $PINM$  quæ sit ad aream hyperbolicam  $PIEQ$  ut arcus  $CZ$  ad arcum  $BC$  descensu descriptum. Et si perpendiculo  $RG$  abscindatur area hyperbolica  $PIGR$ , quæ sit ad aream  $PIEQ$  ut arcus quilibet  $CD$  ad arcum  $BC$  descensu toto descriptum; erit resistentia in loco  $D$  ad vim gravitatis, ut area  $\frac{OR}{OQ} IEF - IGH$  ad aream  $PINM$ .

Nam cum vires a gravitate oriundæ quibus corpus in locis  $Z, B, D$ , a urgetur, sint ut arcus  $CZ, CB, CD, Ca$ , & arcus illi sint ut area  $PINM$ ,

$PINM, PITEQ, PIGR, PITS$ ; exponantur tum arcus tum vires per has areas respective. Sit insuper  $Dd$  spatium quam minimum a corpore descendente descriptum, & exponatur idem per aream quam minimam  $RGgr$  parallelis  $RG, rg$  comprehensam; & producat  $rg$  ad  $h$ , ut sint  $GHhg$ , &  $RGgr$  contemporanea arearum  $IGH, PIGR$  decrementa. Et area  $\frac{OR}{OQ} IEF - IGH$  incremen-

tum  $GHhg - \frac{Rr}{OQ} IEF$ , seu  $Rr \times HG - \frac{Rr}{OQ} IEF$ , erit ad aream  $PIGR$  decrementum  $RGgr$ , seu  $Rr \times RG$ , ut  $HG - \frac{IEF}{OQ}$  ad

$RG$ ; ideoque ut  $OR \times HG - \frac{OR}{OQ} IEF$  ad  $OR \times GR$  seu  $OP \times PI$ , hoc est (ob æqualia  $OR \times HG, OR \times HR - OR \times GR, ORHK - OPIK, PIHR$  &  $PIGR + IGH$ ) ut  $PIGR + IGH - OR IEF$  ad  $OPIK$ . Igitur si area  $\frac{OR}{OQ} IEF - IGH$  dicatur  $Y$ , atque area  $PIGR$  decrementum  $RGgr$  detur, erit incrementum area  $Y$  ut  $PIGR - Y$ .

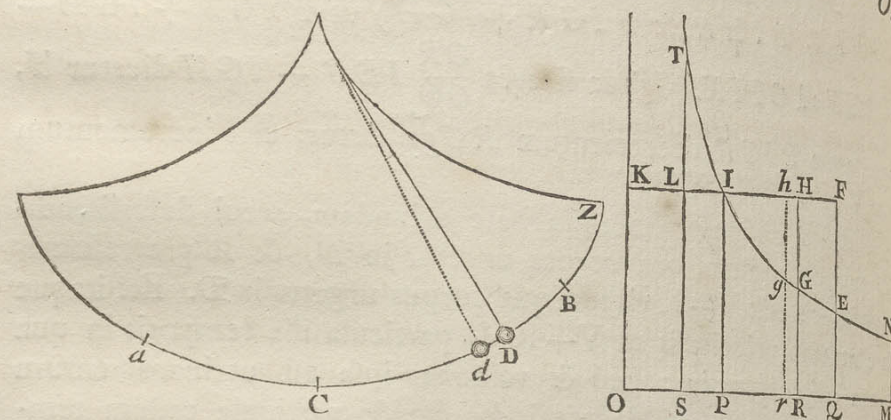
Quod si  $V$  designet vim a gravitate oriundam, arcui describendo  $CD$  proportionalem, qua corpus urgetur in  $D$ , &  $R$  pro resistentia ponatur; erit  $V - R$  vis tota qua corpus urgetur in  $D$ . Est itaque incrementum velocitatis ut  $V - R$  & particula illa temporis in qua factum est conjunctim: Sed & velocitas ipsa est ut incrementum contemporaneum spatii descripti directe & particula eadem temporis inverse. Unde, cum resistentia per hypothese sit ut quadratum velocitatis, incrementum resistentiæ (per lem. 11.) erit ut velocitas & incrementum velocitatis conjunctim, id est, ut momentum spatii &  $V - R$  conjunctim; atque ideo, si momentum spatii detur, ut  $V - R$ ; id est, si pro vi  $V$  scribatur ejus exponens  $PIGR$ , & resistentia  $R$  exponatur per aliam aliquam aream  $Z$ , ut  $PIGR - Z$ .

Igitur area  $PIGR$  per datorum momentorum subductionem uniformiter decrescente, crescunt area  $Y$  in ratione  $PIGR - Y$ , & area  $Z$  in ratione  $PIGR - Z$ . Et propterea si area  $Y$  &  $Z$  simul incipiant & sub initio æquales sint, hæ per additionem æqualium momentorum pergent esse æquales, & æqualibus itidem momentis subinde



subinde decrecentes simul evanescunt. Et vicissim, si simul incipiunt & simul evanescunt, æqualia habebunt momenta & semper erunt æquales: id adeo quia si resistentia  $Z$  augeatur, velocitas una cum arcu illo  $Ca$ , qui in ascensu corporis describitur, diminuetur; & puncto in quo motus omnis una cum resistentia cessat propius accedente ad punctum  $C$ , resistentia citius evanescet quam area  $Y$ . Et contrarium eveniet ubi resistentia diminuitur.

Jam vero area  $Z$  incipit desinitque ubi resistentia nulla est, hoc est, in principio motus ubi arcus  $CD$  arcui  $CB$  æquatur & recta  $RG$  incidit in rectam  $QE$ , & in fine motus ubi arcus  $CD$  arcui  $CA$  æquatur &  $RG$  incidit in rectam  $ST$ . Et area  $Y$  seu  $OR$   $IEF - IGH$  incipit desinitque ubi nulla est, ideoque ubi  $OR$



$IEF$  &  $IGH$  æqualia sunt: hoc est (per constructionem) ubi recta  $RG$  incidit successive in rectas  $QE$  &  $ST$ . Proindeque area illæ simul incipiunt & simul evanescunt, & propterea semper sunt æquales. Igitur area  $OR$   $IEF - IGH$  æqualis est area  $Z$ , per quam resistentia exponitur, & propterea est ad aream  $PINM$  per quam gravitas exponitur, ut resistentia ad gravitatem. Q. E. D.

*Corol. 1.* Est igitur resistentia in loco infimo  $C$  ad vim gravitatis, ut area  $OP$   $IEF$  ad aream  $PINM$ .

*Corol. 2.* Fit autem maxima, ubi area  $PIHR$  est ad aream  $IEF$  ut  $OR$  ad  $OQ$ . Eo enim in casu momentum ejus (nimirum  $PIGR - Y$ ) evadit nullum.

Corol.

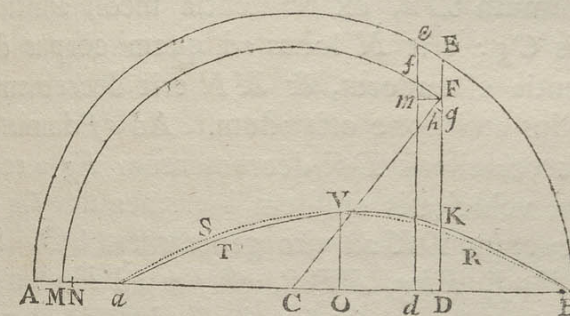
*Corol. 3.* Hinc etiam innotescit velocitas in locis singulis: quippe quæ est in subduplicata ratione resistentiæ, & ipso motus initio æquatur velocitati corporis in eadem cycloide sine omni resistentia oscillantis.

Cæterum ob difficile calculum quo resistentia & velocitas per hanc propositionem inveniendæ sunt, visum est propositionem sequentem subungere.

## PROPOSITIO XXX. THEOREMA XXIV.

Si recta  $AB$  æqualis sit cycloidis arcui quem corpus oscillando describit, & ad singula ejus puncta  $D$  erigantur perpendiculara  $DK$ , quæ sint ad longitudinem penduli ut resistentia corporis in arcus punctis correspondentibus ad vim gravitatis: dico quod differentia inter arcum descensu toto descriptum & arcum ascensu toto subsequente descriptum ducta in arcuum eorundem semisumma, æqualis erit area  $BK$  a perpendicularibus omnibus  $DK$  occupatæ.

Exponatur enim tum cycloidis arcus, oscillatione integra descriptus, per rectam illam sibi æqualem  $AB$ , tum arcus qui describeretur in vacuo per longitudinem  $AB$ . Bifecetur  $AB$  in  $C$ , & punctum  $C$  repræsentabit infimum cycloidis punctum, & erit  $CD$  ut



vis a gravitate oriunda, qua corpus in  $D$  secundum tangentem cycloidis urgetur, eamque habebit rationem ad longitudinem penduli quam habet vis in  $D$  ad vim gravitatis. Exponatur igitur vis illa







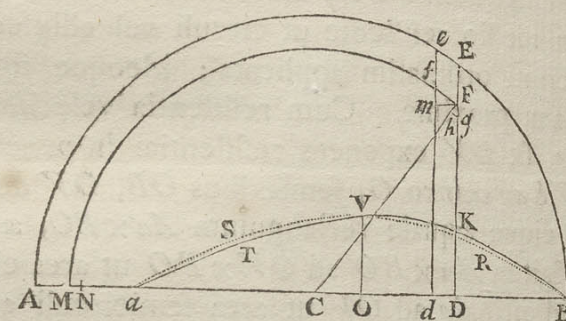
DE MOTU  
CORPORUM

Atque has conclusiones in rebus practicis abunde fatis accuratas esse censeo. Nam cum ellipsis vel parabola  $BRV^a$  congruat cum figura  $BKVT^a$  in puncto medio  $V$ , hæc si ad partem alterutram  $BRV$  vel  $V^sa$  excedit figuram illam, deficit ab eadem ad partem alteram, & sic eidem æquabitur quam proxime.

PROPOSITIO XXXI. THEOREMA XXV.

*Si corporis oscillantis resistentia in singulis arcuum descriptorum partibus proportionalibus augeatur vel minuat in data ratione; differentia inter arcum descensu descriptum & arcum subsequente ascensu descriptum, augebitur vel diminuetur in eadem ratione.*

Oritur enim differentia illa ex retardatione penduli pro resistentia medii, ideoque est ut retardatio tota eique proportionalis resistentia retardans. In superiore propositione rectangulum sub recta  $aB$  & arcuum illorum  $CB$ ,  $Ca$  differentia  $Aa$  aequalis erat area



*BKta.* Et area illa, si maneat longitudo  $aB$ , augetur vel diminuitur, in ratione ordinatim applicatarum  $DK$ ; hoc est, in ratione resistentiæ, ideoque est ut longitudo  $aB$  & resistentia conjunctim. Proindeque rectangulum sub  $Aa$  &  $\frac{1}{2}aB$  est ut  $aB$  & resistentia conjunctim, & propterea  $Aa$  ut resistentia. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Unde si resistentia sit ut velocitas, differentia arcuum in eodem medio erit ut arcus totus descriptus: & contra.

*Corol. 2.* Si resistentia sit in duplicata ratione velocitatis, differentia illa erit in duplicata ratione arcus totius: & contra.

*Corol.*

Corol. 3. Et universaliter, si resistentia sit in triplicata vel alia quavis ratione velocitatis, differentia erit in eadem ratione arcus totius. & contra.

*Corol. 4.* Et si resistantia sit partim in ratione simplici velocitatis, partim in ejusdem ratione duplicata, differentia erit partim in ratione arcus totius & partim in ejus ratione duplicata: & contra. Eadem erit lex & ratio resistantiæ pro velocitate, quæ est differentiæ illius pro longitudine arcus.

*Corol. 5.* Ideoque si, pendulo inæquales arcus successive describente, inveniri potest ratio incrementi ac decrementi differentiæ hujus pro longitudine arcus descripti; habebitur etiam ratio incrementi ac decrementi resistentiæ pro velocitate majore vel minore.

*Scholium Generale.*

Ex his propositionibus, per oscillationes pendulorum in mediis quibuscunque, invenire licet resistentiam mediorum. Aeris vero resistentiam investigavi per experimenta sequentia. Globum ligneum pondere unciarum *Romanarum*  $57\frac{2}{3}$ , diametro digitorum *Londinensium*  $6\frac{1}{2}$  fabricatum, filo tenui ab unco satis firmo suspendi, ita ut inter uncum & centrum oscillationis globi distantia esset pedum 10 $\frac{1}{2}$ . In filo punctum notavi pedibus decem & uncia una a centro suspensionis distans; & e regione puncti illius collocavi regulam in digitos distinctam, quorum ope notarem longitudines arcuum a pendulo descriptas. Deinde numeravi oscillationes quibus globus octavam motus sui partem amitteret. Si pendulum deducebatur a perpendiculari ad distantiam duorum digitorum, & inde demittebatur; ita ut toto suo descensu describeret arcum duorum digitorum, totaque oscillatione prima, ex descensu & ascensu subsequente composita, arcum digitorum fere quatuor: idem oscillationibus 164 amisit octavam motus sui partem, sic ut ultimo suo ascensu describeret arcum digiti unius cum tribus partibus quartis digiti. Si primo descensu descripsit arcum digitorum quatuor; amisit octavam motus partem oscillationibus 121, ita ut ascensu ultimo describeret arcum digitorum  $3\frac{1}{2}$ . Si primo descensu descripsit arcum digitorum octo, sexdecim, triginta duorum vel sexaginta quatuor; amisit octavam motus partem oscillationibus  $69, 35\frac{1}{2}, 18\frac{1}{2}, 9\frac{1}{2}$ , respective. Igitur differentia inter arcus descensu primo & ascensu ulti-

R r 2

mo



mo descriptos, erat in casu primo, secundo, tertio, quarto, quinto, sexto, digitorum  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 4, 8 respective. Dividuntur eæ differentia per numerum oscillationum in casu unoquoque, & in oscillatione una mediocri, qua arcus digitorum  $3\frac{1}{2}$ ,  $7\frac{1}{2}$ , 15, 30, 60, 120 descriptus fuit, differentia arcuum descensu & subsequente ascensu descriptorum, erit  $\frac{1}{630}$ ,  $\frac{1}{242}$ ,  $\frac{1}{69}$ ,  $\frac{4}{71}$ ,  $\frac{8}{37}$ ,  $\frac{24}{29}$  partes digiti respective. Hæ autem in majoribus oscillationibus sunt in duplicata ratione arcuum descriptorum quam proxime, in minoribus vero paulo majores quam in ea ratione; & propterea (per corol. 2. prop. xxxi. libri hujus) resistentia globi, ubi celerius movetur, est in duplicata ratione velocitatis quam proxime; ubi tardius, paulo major quam in ea ratione.

Designet jam V velocitatem maximam in oscillatione quavis, sintque A, B, C quantitates datæ, & fingamus quod differentia arcuum sit  $AV + BV^{\frac{1}{2}} + CV^2$ . Cum velocitates maximæ sint in cycloide ut semiffes arcuum oscillando descriptorum, in circulo vero ut semiffum arcuum illorum chordæ; ideoque paribus arcubus majores sint in cycloide quam in circulo, in ratione semiffium arcuum ad eorundem chordas; tempora autem in circulo sint majora quam in cycloide in velocitatis ratione reciproca; patet arcuum differentias (quæ sunt ut resistentia & quadratum temporis conjunctim) easdem fore, quamproxime, in utraque curva: deberent enim differentia illæ in cycloide augeri, una cum resistentia, in duplicata circiter ratione arcus ad chordam, ob velocitatem in ratione illa simplici actam; & diminui, una cum quadrato temporis, in eadem duplicata ratione. Itaque ut reductio fiat ad cycloidem, eadem sumendæ sunt arcuum differentia quæ fuerunt in circulo observatæ, velocitates vero maximæ ponendæ sunt arcubus vel dimidiatis vel integris, hoc est, numeris  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 4, 8, 16 analogæ. Scribamus ergo in casu secundo, quarto & sexto numeros 1, 4 & 16 pro V; & prodibit arcuum differentia  $\frac{1}{121} = A + B + C$  in casu secundo;  $\frac{2}{35} = 4A + 8B$

+ 16C in casu quarto; &  $\frac{8}{9} = 16A + 64B + 256C$  in casu sexto.

Et ex his æquationibus, per debitam collationem & reductionem analyticam, fit  $A = 0,0000916$ ,  $B = 0,0010847$ , &  $C = 0,0029558$ . Ertigitur differentia arcuum ut  $0,0000916V + 0,0010847V^{\frac{1}{2}} + 0,0029558V^2$ ; & prop-

& propterea cum (per corollarium propositionis xxx. applicatum ad hunc casum) resistentia globi in medio arcus oscillando descripti, ubi velocitas est V, sit ad ipsius pondus ut  $\frac{7}{11} AV + \frac{7}{11} BV^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{4} CV^2$  ad longitudinem penduli; si pro A, B & C scribantur numeri inventi, fiet resistentia globi ad ejus pondus, ut 0,0000583 V + 0,0007593  $V^{\frac{1}{2}}$  + 0,0022169  $V^2$  ad longitudinem penduli inter centrum suspensionis & regulam, id est, ad 121 digitos. Unde cum V in casu secundo designet 1, in quarto 4, in sexto 16: erit resistentia ad pondus globi in casu secundo ut 0,0030345 ad 121, in quarto ut 0,041748 ad 121, in sexto ut 0,61705 ad 121.

Arcus quem punctum in filo notatum in casu sexto descripsit, erat  $120 - \frac{8}{9}$  seu 119  $\frac{8}{9}$  digitorum. Et propterea cum radius esset 121

digitorum, & longitudo penduli inter punctum suspensionis & centrum globi esset 126 digitorum, arcus quem centrum globi descripsit erat 124  $\frac{1}{3}$  digitorum. Quoniam corporis oscillantis velocitas maxima, ob resistentiam aeris, non incidit in punctum infimum arcus descripti, sed in medio fere loco arcus totius versatur: hæc eadem erit circiter ac si globus descensu suo toto in medio non resistente describeret arcus illius partem dimidiam digitorum 62  $\frac{2}{3}$ , idque in cycloide, ad quam motum penduli supra reduximus: & propterea velocitas illa æqualis erit velocitati quam globus, perpendiculariter cadendo & casu suo describendo altitudinem arcus illius sinui verso æqualem, acquirere posset. Est autem sinus ille versus in cycloide ad arcum istum 62  $\frac{2}{3}$ , ut arcus idem ad penduli longitudinem duplam 252, & propterea æqualis digitis 15,278. Quare velocitas ea ipsa est quam corpus cadendo & casu suo spatium 15,278 digitorum describendo acquirere posset. Tali igitur cum velocitate globus resistentiam patitur, quæ sit ad ejus pondus ut 0,61705 ad 121, vel (si resistentia pars illa sola spectetur quæ est in velocitatis ratione duplicata) ut 0,56752 ad 121.

Experimento autem hydrostatico inveni quod pondus globi hujus lignei esset ad pondus globi aquei magnitudinis ejusdem ut 55 ad 97: & propterea cum 121 sit ad 213,4 in eadem ratione, erit resistentia globi aquei præfata cum velocitate progredientis ad ipsius pondus ut 0,56752 ad 213,4, id est, ut 1 ad 376  $\frac{1}{3}$ . Unde cum pondus



310 dus globi aquei, quo tempore globus cum velocitate uniformiter continuata describat longitudinem digitorum 30,556, velocitatem illam omnem in globo cadente generare posset; manifestum est quod vis resistentiæ eodem tempore uniformiter continuata tollere posset velocitatem minorem in ratione 1 ad 376 $\frac{1}{2}$ , hoc est, velocitatis totius partem  $\frac{1}{376\frac{1}{2}}$ . Et propterea quo tempore globus, ea cum velocitate uniformiter continuata, longitudinem semidiametri suæ, seu digitorum 3 $\frac{1}{2}$ , describere posset, eodem amitteret motus sui partem  $\frac{1}{3342}$ .

Numerabam etiam oscillationes quibus pendulum quartam motus sui partem amisit. In sequente tabula numeri supremi denotant longitudinem arcus descensu primo descripti, in digitis & partibus digiti expressam: numeri medii significant longitudinem arcus ascensu ultimo descripti; & loco infimo stant numeri oscillationum. Experimentum descripti tanquam magis accuratum quam cum motus pars tantum octava amitteretur. Calculum tentet qui volet.

<i>Descensus primus</i>	2	4	8	16	32	64
<i>Ascensus ultimus</i>	1 $\frac{1}{2}$	3	6	12	24	48
<i>Numerus Oscillat.</i>	374	272	162 $\frac{1}{2}$	83 $\frac{1}{2}$	41 $\frac{1}{2}$	22 $\frac{1}{2}$

Postea globum plumbeum diametro digitorum 2, & pondere unciarum *Romanarum* 26 $\frac{1}{2}$  suspendi filo eodem, sic ut inter centrum globi & punctum suspensionis intervallum esset pedum 10 $\frac{1}{2}$ , & numerabam oscillationes quibus data motus pars amitteretur. Tabularum subsequens prior exhibet numerum oscillationum quibus pars octava motus totius cessavit; secunda numerum oscillationum quibus ejusdem pars quarta amissa fuit.

<i>Descensus primus</i>	1	2	4	8	16	32	64
<i>Ascensus ultimus</i>	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	7	14	28	56
<i>Numerus Oscillat.</i>	226	228	193	140	90 $\frac{1}{2}$	53	30
<i>Descensus primus</i>	1	2	4	8	16	32	64
<i>Ascensus ultimus</i>	$\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	3	6	12	24	48
<i>Numerus Oscillat.</i>	510	518	420	318	204	121	70

In tabula priore seligendo ex observationibus tertiâ, quintâ & septimâ,

septimâ, & exponendo velocitates maximas in his observationibus particulatim per numeros 1, 4, 16 respective, & generaliter per quantitatem V ut supra: emerget in observatione tertiâ  $\frac{1}{193} = A + B$

+ C, in quinta  $\frac{2}{90\frac{1}{2}} = 4A + 8B + 16C$ , in septima  $\frac{8}{30} = 16A + 64B + 256C$ . Hæ vero æquationes reductæ dant  $A = 0,001414$ ,  $B = 0,000297$ ,  $C = 0,000879$ . Et inde prodit resistentia globi cum velocitate V moti in ea ratione ad pondus suum unciarum 26 $\frac{1}{2}$  quam habet 0,0009 V + 0,000208 V $\frac{1}{2}$  + 0,000659 V $\frac{1}{2}$  ad penduli longitudinem 121 digitorum. Et si spectemus eam solummodo resistentiæ partem quæ est in duplicata ratione velocitatis, hæc erit ad pondus globi ut 0,000659 V $\frac{1}{2}$  ad 121 digitos. Erat autem hæc pars resistentiæ in experimento primo ad pondus globi lignei unciarum 57 $\frac{1}{2}$  ut 0,002217 V $\frac{1}{2}$  ad 121: & inde fit resistentia globi lignei ad resistentiam globi plumbei (paribus eorum velocitatibus) ut 57 $\frac{1}{2}$  in 0,002217 ad 26 $\frac{1}{2}$  in 0,000659, id est, ut 7 $\frac{1}{2}$  ad 1. Diametri globorum duorum erant 6 $\frac{1}{2}$  & 2 digitorum, & harum quadrata sunt ad invicem ut 47 $\frac{1}{2}$  & 4, seu 11 $\frac{1}{2}$  & 1 quamproxime. Ergo resistentiæ globorum æquivelocium erant in minore ratione quam duplicata diametrorum. At nondum consideravimus resistentiam fili, quæ certe permagna erat, ac de pendulorum inventa resistentia subduci debet. Hanc accurate definire non potui, sed majorem tamen inveni quam partem tertiam resistentiæ totius minoris penduli; & inde didici quod resistentiæ globorum, dempta fili resistentia, sunt quam proxime in duplicata ratione diametrorum. Nam ratio 7 $\frac{1}{2}$  —  $\frac{1}{2}$  ad 1 —  $\frac{1}{2}$ , seu 10 $\frac{1}{2}$  ad 1 non longe abest a diametrorum ratione duplicata 11 $\frac{1}{2}$  ad 1.

Cum resistentia fili in globis majoribus minoris sit momenti, tentavi etiam experimentum in globo cujus diameter erat 18 $\frac{1}{4}$  digitorum. Longitudo penduli inter punctum suspensionis & centrum oscillationis erat digitorum 122 $\frac{1}{2}$ , inter punctum suspensionis & nodum in filo 109 $\frac{1}{2}$  dig. Arcus primo penduli descensu a nodo descriptus 32 dig. Arcus ascensu ultimo post oscillationes quinque ab eodem nodo descriptus 28 dig. Summa arcuum seu arcus totus oscillatione mediocri descriptus 60 dig. Differentia arcuum 4 dig. Ejus pars decima seu differentia inter descensum & ascensum in oscil-



oscillatione mediocri  $\frac{3}{4}$  dig. Ut radius 109 $\frac{1}{2}$  ad radium 122 $\frac{1}{2}$  ita arcus totus 60 dig. oscillatione mediocri a nodo descriptus ad arcum totum 67 $\frac{1}{2}$  dig. oscillatione mediocri a centro globi descriptum; & ita differentia  $\frac{3}{4}$  ad differentiam novam 0,4475. Si longitudo penduli, manente longitudine arcus descripti, augetur in ratione 126 ad 122 $\frac{1}{2}$ ; tempus oscillationis augetur & velocitas penduli diminueretur in ratione illa subduplicata; maneret vero arcuum descensu & subsequente ascensu descriptorum differentia 0,4475. Deinde si arcus descriptus augetur in ratione 124 $\frac{1}{2}$  ad 67 $\frac{1}{2}$ , differentia ista 0,4475 augetur in duplicata illa ratione, ideoque evaderet 1,5295. Hæc ita se haberent, ex hypothesi quod resistentia penduli esset in duplicata ratione velocitatis. Ergo si pendulum describeret arcum totum 124 $\frac{1}{2}$  digitorum, & longitudo ejus inter punctum suspensionis & centrum oscillationis esset 126 digitorum, differentia arcuum descensu & subsequente ascensu descriptorum foret 1,5295 digitorum. Et hæc differentia ducta in pondus globi penduli, quod erat unciarum 208, producit 318,136. Rursum ubi pendulum superius ex globo ligneo constructum centro oscillationis, quod a puncto suspensionis digitos 126 distabat, describebat arcum totum 124 $\frac{1}{2}$  digitorum, differentia arcuum descensu & ascensu descriptum fuit  $\frac{126}{121}$  in  $\frac{8}{9}$ , quæ ducta in pondus globi, quod erat unciarum 57 $\frac{1}{2}$ , producit 49,396. Duxi autem differentias hæc in pondera globorum, ut invenirem eorum resistentias. Nam differentia oriuntur ex resistentiis, suntque ut resistentia directe & pondera inverse. Sunt igitur resistentia ut numeri 318,136 & 49,396. Pars autem resistentia globi minoris, quæ est in duplicata ratione velocitatis, erat ad resistentiam totam ut 0,56752 ad 0,61675, id est, ut 45,453 ad 49,396; & pars resistentia globi majoris propemodum æquatur ipsius resistentia toti; ideoque partes illæ sunt ut 318,136 & 45,453 quamproxime, id est, ut 7 & 1. Sunt autem globorum diametri 18 $\frac{1}{4}$  & 6 $\frac{3}{4}$ ; & harum quadrata 351 $\frac{1}{4}$  & 47 $\frac{1}{4}$  sunt ut 7,438 & 1, id est, ut globorum resistentia 7 & 1 quamproxime. Differentia rationum haud major est, quam quæ ex fili resistentia oritur potuit. Igitur resistentiarum partes illæ quæ sunt, paribus globis, ut quadrata velocitatum; sunt etiam, paribus velocitatibus, ut quadrata diametrorum globorum.

Cæterum

Cæterum globorum, quibus usus sum in his experimentis, maximus non erat perfecte sphaericus, & propterea in calculo hic allato minutias quasdam brevitatis gratia neglexi; de calculo accurato in experimento non satis accurato minime sollicitus. Optarim itaque, cum demonstratio vacui ex his dependeat, ut experimenta cum globis & pluribus & majoribus & magis accuratis tentarentur. Si globi sumantur in proportionem geometricam, puta quorum diametri sint digitorum 4, 8, 16, 32; ex progressionem experimentorum colligetur quid in globis adhuc majoribus evenire debeat.

Jam vero conferendo resistentias diversorum fluidorum inter se tentavi sequentia. Arcam ligneam paravi longitudine pedum quatuor, latitudine & altitudine pedis unius. Hanc operculo nudatam implevi aqua fontana, fecique ut immersa pendula in medio aquæ oscillando moverentur. Globus autem plumbeus pondere 166 $\frac{1}{2}$  unciarum, diametro 3 $\frac{1}{2}$  digitorum movebatur ut in tabula sequente descripsimus, existente videlicet longitudine penduli a puncto suspensionis ad punctum quoddam in filo notatum 126 digitorum, ad oscillationis autem centrum 134 $\frac{1}{2}$  digitorum.

Arcus descensu primo a puncto in filo notato descriptus, digitorum	64	32	16	8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
Arcus ascensu ultimo descriptus, digitorum	48	24	12	6	3	1 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
Arcuum differentia motui amisso proportionalis, digitorum	16	8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
Numerus Oscillationum in aqua	$\frac{32}{3}$	11 $\frac{1}{3}$	3	7	11 $\frac{1}{4}$	12 $\frac{1}{2}$	13 $\frac{1}{3}$		
Numerus Oscillationum in aere	85 $\frac{1}{2}$	287	535						

In experimento columnæ quartæ, motus æquales oscillationibus 535 in aere, & 1 $\frac{1}{3}$  in aqua amissi sunt. Erant quidem oscillationes in aere paulo celeriores quam in aqua. At si oscillationes in aqua in ea ratione accelerarentur ut motus pendulorum in medio utroque fierent æquveloces, maneret numerus idem oscillationum 1 $\frac{1}{3}$  in aqua, quibus motus idem ac prius amitteretur; ob resistentiam auctam & simul quadratum temporis diminutum in eadem ratione illa duplicata. Paribus igitur pendulorum velocitatibus motus æquales in aere oscillationibus 535 & in aqua oscillationibus 1 $\frac{1}{3}$  amissi sunt; ideoque resistentia penduli in aqua est ad ejus resistentiam in aere

SI ut



DE MOTU ut 535 ad 17. Hæc est proportio resistentiarum totarum in casu  
CORPORUM columnæ quartæ.

Designet jam  $AV + CV^2$  differentiam arcuum in descensu & subsequente ascensu descriptorum a globo in aere cum velocitate maxima  $V$  moto; & cum velocitas maxima in casu columnæ quartæ sit ad velocitatem maximam in casu columnæ primæ, ut 1 ad 8; & differentia illa arcuum in casu columnæ quartæ ad differentiam in casu columnæ primæ ut  $\frac{2}{535}$  ad  $\frac{16}{85\frac{1}{2}}$ , seu ut  $85\frac{1}{2}$  ad 4280: scribamus in his casibus 1 & 8 pro velocitatibus, atque  $85\frac{1}{2}$  & 4280 pro differentiis arcuum, & fiet  $A + C = 85\frac{1}{2}$  &  $8A + 64C = 4280$  seu  $A + 8C = 535$ ; indeque per reductionem æquationum proveniet  $7C = 449\frac{1}{2}$  &  $C = 64\frac{1}{2}$  &  $A = 21\frac{1}{2}$ : atque ideo resistentia, cum sit ut  $\frac{7}{17} AV + \frac{1}{4} CV^2$ , erit ut  $13\frac{1}{2} V + 48\frac{1}{2} V^2$ . Quare in casu columnæ quartæ, ubi velocitas erat 1, resistentia tota est ad partem suam quadrato velocitatis proportionalem, ut  $13\frac{1}{2} + 48\frac{1}{2}$  seu  $61\frac{1}{2}$  ad  $48\frac{1}{2}$ ; & idcirco resistentia penduli in aqua est ad resistentiæ partem illam in aere, quæ quadrato velocitatis proportionalis est, quæque sola in motibus velocioribus consideranda venit, ut  $61\frac{1}{2}$  ad  $48\frac{1}{2}$  & 535 ad  $17\frac{1}{2}$  conjunctim, id est, ut 571 ad 1. Si penduli in aqua oscillantis filum totum fuisset immersum, resistentia ejus fuisset adhuc major; adeo ut penduli in aqua oscillantis resistentia illa, quæ velocitatis quadrato proportionalis est, quæque sola in corporibus velocioribus consideranda venit, sit ad resistentiam ejusdem penduli totius, eadem cum velocitate in aere oscillantis, ut 850 ad 1 circiter, hoc est, ut densitas aquæ ad densitatem aeris quamproxime.

In hoc calculo sumi quoque deberet pars illa resistentiæ penduli in aqua, quæ esset ut quadratum velocitatis, sed (quod mirum forte videatur) resistentia in aqua augebatur in ratione velocitatis plusquam duplicata. Ejus rei causam investigando, in hanc incidi, quod arca nimis angusta esset pro magnitudine globi penduli, & motum aquæ cedentis præ angustia sua nimis impediabat. Nam si globus pendulus, cujus diameter erat digiti unius, immergeretur; resistentia augebatur in duplicata ratione velocitatis quam proxime. Id tentabam construendo pendulum ex globis duobus, quorum inferior & minor oscillaretur in aqua, superior & major proxime supra aquam filo affixus esset, & in aere oscillando, adjuvaret motum pen-

LIBER  
SECUNDUS.  
duli eumque diuturniorem redderet. Experimenta autem hoc modo instituta se habebant ut in tabula sequente describitur.

<i>Arcus descensu primo descriptus</i>	16	8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
<i>Arcus ascensu ultimo descriptus</i>	12	6	3	$1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
<i>Arcuum diff. motui amisso proport.</i>	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
<i>Numerus Oscillationum</i>	$3\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$12\frac{1}{2}$	$21\frac{1}{2}$	34	53	$62\frac{1}{2}$

Conferendo resistentias mediorum inter se, effeci etiam ut pendula ferrea oscillarentur in argento vivo. Longitudo fili ferrei erat pedum quasi trium, & diameter globi penduli quasi tertia pars digiti. Ad filum autem proxime supra mercurium affixus erat globus alius plumbeus satis magnus ad motum penduli diutius continuandum. Tum vasculum, quod capiebat quasi libras tres argenti vivi, implebam vicibus alternis argento vivo & aqua communi, ut pendulo in fluido utroque successive oscillante, invenirem proportionem resistentiarum: & prodiit resistentia argenti vivi ad resistentiam aquæ ut 13 vel 14 ad 1 circiter: id est, ut densitas argenti vivi ad densitatem aquæ. Ubi globum pendulum paulo majorem adhibebam, puta cujus diameter esset quasi  $\frac{1}{2}$  vel  $\frac{2}{3}$  partes digiti, prodibat resistentia argenti vivi in ea ratione ad resistentiam aquæ, quam habet numerus 12 vel 10 ad 1 circiter. Sed experimento priori magis fidendum est, propterea quod in his ultimis vas nimis angustum fuit pro magnitudine globi immerfi. Ampliato globo, deberet etiam vas ampliari. Constitueram quidem hujusmodi experimenta in vasis majoribus & in liquoribus tum metallorum fusorum, tum aliis quibusdam tam calidis quam frigidis repetere: sed omnia experiri non vacat, & ex jam descriptis satis liquet resistentiam corporum celeriter motorum densitati fluidorum in quibus moventur proportionalem esse quam proxime. Non dico accurate. Nam fluida tenaciora, pari densitate, proculdubio magis resistunt quam liquidiora, ut oleum frigidum quam calidum, calidum quam aqua pluvialis, aqua quam spiritus vini. Verum in liquoribus, qui ad sensum satis fluidi sunt, ut in aere, in aqua seu dulci seu salsa, in spiritibus vini, terebinthi & salium, in oleo a facibus per destillationem liberato & calefacto, oleoque vitrioli & mercurio, ac metallis liquefactis, & siqui sint alii, qui tam fluidi sunt ut in vasis agitati motum impressum diutius conservent, effusique liberrime in guttas decurrendo resolvantur, nullus dubito



dubito quin regula allata satis accurate obtineat: præsertim si experimenta in corporibus pendulis & majoribus & velocius motis instituantur.

Denique cum nonnullorum opinio sit, medium quoddam æthereum & longe subtilissimum extare, quod omnes omnium corporum poros & meatus liberrime permeet; a tali autem medio per corporum poros fluente resistentia oriri debeat: ut tentarem an resistentia, quam in motis corporibus experimur, tota sit in eorum externa superficie, an vero partes etiam internæ in superficiebus propriis resistentiam notabilem sentiant, excogitavi experimentum tale. Filo pedum undecim longitudinis ab unco chalybeo satis firmo, mediante annulo chalybeo, suspendebam pyxidem abiernam rotundam, ad constituendum pendulum longitudinis prædictæ. Uncus sursum præacutus erat acie concava, ut annulus arcu suo superiore aciei innixus liberrime moveretur. Arcui autem inferiori annectebatur filum. Pendulum ita constitutum deducebam a perpendiculari ad distantiam quasi pedum sex, idque secundum planum aciei unci perpendicularare, ne annulus, oscillante pendulo, supra aciem unci ultro citroque laberetur. Nam punctum suspensionis, in quo annulus uncum tangit, immotum manere debet. Locum igitur accurate notabam, ad quem deduxeram pendulum, dein pendulo demisso notabam alia tria loca ad quæ redibat in fine oscillationis primæ, secundæ ac tertiæ. Hoc repetebam sæpius, ut loca illa quam potui accuratissime invenirem. Tum pyxidem plumbo & gravioribus, quæ ad manus erant, metallis implebam. Sed prius ponderabam pyxidem vacuum, una cum parte fili quæ circum pyxidem volvebatur ac dimidio partis reliquæ quæ inter uncum & pyxidem pendulam tendebatur. Nam filum tensum dimidio ponderis sui pendulum a perpendiculari digressum semper urget. Huic ponderi addebam pondus aeris quem pyxis capiebat. Et pondus totum erat quasi pars septuagesima octava pyxidis metallorum plenæ. Tum quoniam pyxis metallorum plena, pondere suo tendendo filum, augebat longitudinem penduli, contrahebam filum ut penduli jam oscillantis eadem esset longitudo ac prius. Dein pendulo ad locum primo notatum retracto ac dimisso, numerabam oscillationes quasi septuaginta & septem, donec pyxis ad locum secundo notatum rediret, totidemque subinde donec pyxis ad locum

locum tertio notatum rediret, atque rursus totidem donec pyxis reditu suo attingeret locum quartum. Unde concludo quod resistentia tota pyxidis plenæ non majorem habebat proportionem ad resistentiam pyxididis vacuæ quam 78 ad 77. Nam si æquales essent ætates majorem vi insita pyxididis vacuæ, motum suum oscillatorium tanto diutius conservare deberet, atque ideo completis semper oscillationibus 78 ad loca illa notata redire. Rediit autem ad eadem completis oscillationibus 77.

Designet igitur A resistentiam pyxididis in ipsius superficie externa, & B resistentiam pyxididis vacuæ in partibus internis; & si resistentiæ corporum æquivelocium in partibus internis sint ut materia, seu numerus particularum quibus resistitur: erit 78 B resistentia pyxididis plenæ in ipsius partibus internis: ideoque pyxididis vacuæ resistentia tota A+B erit ad pyxididis plenæ resistentiam totam A+78 B ut 77 ad 78, & divisim A+B ad 77 B, ut 77 ad 1, indeque A+B ad B ut 77×77 ad 1, & divisim A ad B ut 5928 ad 1. Est igitur resistentia pyxididis vacuæ in partibus internis quinquies millies minor quam ejusdem resistentia in externa superficie, & amplius. Sic vero disputamus ex hypothesi quod major illa resistentia pyxididis plenæ, non ab alia aliqua causa latente oriatur, sed ab actione sola fluidi alicujus subtilis in metallum inclusum.

Hoc experimentum recitavi memoriter. Nam charta, in qua illud aliquando descripseram, intercidit. Unde fractas quasdam numerorum partes, quæ memoria exciderunt, omittere compulsus sum.

Nam omnia denuo tentare non vacat. Prima vice, cum unco infirmo usus essem, pyxis plena citius retardabatur. Causam querendo, reperi quod uncus infirmus cedebat ponderi pyxididis, & ejus oscillationibus obsequendo in partes omnes flecebatur. Parabam igitur uncum firmum, ut punctum suspensionis immotum maneret, & tunc omnia ita evenerunt uti supra descripsimus.



## SECTIO VII.

*De motu fluidorum & resistentia projectilium.*

## PROPOSITIO XXXII. THEOREMA XXVI.

*Si corporum systemata duo similia ex æquali particularum numero constent, & particule correspondentes similes sint & proportionales, singula in uno systemate singulis in altero, & similiter sita inter se, ac datam habeant rationem densitatis ad invicem, & inter se temporibus proportionalibus similiter moveri incipiant (eæ inter se quæ in uno sunt systemate & eæ inter se quæ sunt in altero) & si non tangerent se mutuo quæ in eodem sunt systemate, nisi in momentis reflexionum, neque attrahant, vel fugant se mutuo, nisi viribus acceleratricibus quæ sint ut particularum correspondentium diametri inverse & quadrata velocitatum directe: dico quod systematum particule illæ pergent inter se temporibus proportionalibus similiter moveri.*

Corpora similia & similiter sita temporibus proportionalibus inter se similiter moveri dico, quorum situs ad invicem in fine temporum illorum semper sunt similes: puta si particule unius systematis cum alterius particulis correspondentibus conferantur. Unde tempora erunt proportionalia, in quibus similes & proportionales figurarum similium partes a particulis correspondentibus describuntur. Igitur si duo sint ejusmodi systemata, particule correspondentes, ob similitudinem inceptorum motuum, pergent similiter moveri, usque donec sibi mutuo occurrant. Nam si nullis agitantur viribus, progredientur uniformiter in lineis rectis per motus leg. 1. Si viribus aliquibus se mutuo agitant, & vires illæ sint ut particularum correspondentium diametri inverse & quadrata velocitatum directe; quoniam particularum situs sunt similes & vires proportionales, vires totæ quibus particule correspondentes agitantur, ex viribus singulis agitan-

tibus

tibus (per legum corollarium secundum) compositæ, similes habebunt determinationes, perinde ac si centra inter particulas similiter sita respicerent; & erunt vires illæ totæ ad invicem ut vires singulæ componentes, hoc est, ut correspondentium particularum diametri inverse, & quadrata velocitatum directe: & propterea efficient ut correspondentes particule figuras similes describere pergant. Hæc ita se habebunt (per corol. 1. & 8 prop. 14. lib. 1.) si modo centra illa quiescant. Sin moveantur, quoniam ob translationum similitudinem, similes manent eorum situs inter systematum particulas; similes inducentur mutationes in figuris quas particule describunt. Similes igitur erunt correspondentium & similium particularum motus usque ad occursum suos primos, & propterea similes occursum, & similes reflexiones, & subinde (per jam ostensa) similes motus inter se donec iterum in se mutuo inciderint, & sic deinceps in infinitum. Q. E. D.

Corol. 1. Hinc si corpora duo quævis, quæ similia sint & ad systematum particulas correspondentes similiter sita, inter ipsas temporibus proportionalibus similiter moveri incipiant, sintque eorum magnitudines ac densitates ad invicem ut magnitudines ac densitates correspondentium particularum: hæc pergent temporibus proportionalibus similiter moveri. Est enim eadem ratio partium majorum systematis utriusque atque particularum.

Corol. 2. Et si similes & similiter positæ systematum partes omnes quiescant inter se: & earum duæ, quæ cæteris majores sint, & sibi mutuo in utroque systemate respondeant, secundum lineas similiter sitas simili cum motu utcumque moveri incipiant: hæc similes in reliquis systematum partibus excitabunt motus, & pergent inter ipsas temporibus proportionalibus similiter moveri; atque ideo spatia diametris suis proportionalia describere.

## PROPOSITIO XXXIII. THEOREMA XXVII.

*Isdem positis, dico quod systematum partes majores resistuntur in ratione composita ex duplicata ratione velocitatum suarum & duplicata ratione diametrorum & ratione densitatis partium systematum.*

Nam resistentia oritur partim ex viribus centripetis vel centrifugis



gis quibus particulæ systematum se mutuo agitant, partim ex occurrantibus & reflexionibus particularum & partium majorum. Prioris autem generis resistentiæ sunt ad invicem ut vires totæ motrices a quibus oriuntur, id est, ut vires totæ acceleratrices & quantitates materiæ in partibus correspondentibus; hoc est (per hypothesin) ut quadrata velocitatum directe & distantia particularum correspondentium inverse & quantitates materiæ in partibus correspondentibus directe: ideoque cum distantia particularum systematis unius sint ad distantias correspondentes particularum alterius, ut diameter particulæ vel partis in systemate priore ad diametrum particulæ vel partis correspondentis in altero, & quantitates materiæ sint ut densitates partium & cubi diametrorum; resistentiæ sunt ad invicem ut quadrata velocitatum & quadrata diametrorum & densitates partium systematum. *Q. E. D.* Posterioris generis resistentiæ sunt ut reflexionum correspondentium numeri & vires conjunctim. Numeri autem reflexionum sunt ad invicem ut velocitates partium correspondentium directe, & spatia inter earum reflexiones inverse. Et vires reflexionum sunt ut velocitates & magnitudines & densitates partium correspondentium conjunctim; id est, ut velocitates & diametrorum cubi & densitates partium. Et conjunctis his omnibus rationibus, resistentiæ partium correspondentium sunt ad invicem ut quadrata velocitatum & quadrata diametrorum & densitates partium conjunctim. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Igitur si systemata illa sint fluida duo elastica ad modum aeris, & partes eorum quiescant inter se: corpora autem duo similia & partibus fluidorum quoad magnitudinem & densitatem proportionalia, & inter partes illas similiter posita, secundum lineas similiter positas utcumque projiciantur; vires autem acceleratrices, quibus particulæ fluidorum se mutuo agitant, sint ut corporum projectorum diametri inverse, & quadrata velocitatum directe: corpora illa temporibus proportionalibus similes excitabunt motus in fluidis, & spatia similia ac diametris suis proportionalia describent.

*Corol. 2.* Proinde in eodem fluido projectile velox resistentiam patitur, quæ est in duplicata ratione velocitatis quam proxime. Nam si vires, quibus particulæ distantes se mutuo agitant, auferantur in duplicata ratione velocitatis, resistentia foret in eadem ratione duplicata accurate; ideoque in medio, cujus partes ab invicem distan-

tes

tes sese viribus nullis agitant, resistentia est in duplicata ratione velocitatis accurate. Sunt igitur media tria *A, B, C* ex partibus similibus & æqualibus & secundum distantias æquales regulariter dispositis constantia. Partes mediorum *A* & *B* fugiant se mutuo viribus quæ sint ad invicem ut *T* & *V*, illæ medii *C* ejusmodi viribus omnino destituantur. Et si corpora quatuor æqualia *D, E, F, G* in his mediis moveantur, priora duo *D* & *E* in prioribus duobus *A* & *B*, & altera duo *F* & *G* in tertio *C*; sitque velocitas corporis *D* ad velocitatem corporis *E*, & velocitas corporis *F* ad velocitatem corporis *G* in subduplicata ratione virium *T* ad vires *V*: resistentia corporis *D* erit ad resistentiam corporis *E*, & resistentia corporis *F* ad resistentiam corporis *G*, in velocitatum ratione duplicata; & propterea resistentia corporis *D* erit ad resistentiam corporis *F* ut resistentia corporis *E* ad resistentiam corporis *G*. Sunt corpora *D* & *F* æquielocia ut & corpora *E* & *G*; & augendo velocitates corporum *D* & *F* in ratione quacunque, ac diminuendo vires particularum medii *B* in eadem ratione duplicata, accedet medium *B* ad formam & conditionem medii *C* pro libitu, & idcirco resistentiæ corporum æqualium & æquielocium *E* & *G* in his mediis, perpetuo accedent ad æqualitatem, ita ut earum differentia evadat tandem minor quam data quævis. Proinde cum resistentiæ corporum *D* & *F* sint ad invicem ut resistentiæ corporum *E* & *G*, accedent etiam hæc similiter ad rationem æqualitatis. Corporum igitur *D* & *F*, ubi velocissime moventur, resistentiæ sunt æquales quam proximè: & propterea cum resistentia corporis *F* sit in duplicata ratione velocitatis, erit resistentia corporis *D* in eadem ratione quam proximè.

*Corol. 3.* Corporis in fluido quovis elastico velocissime moti eadem fere est resistentia ac si partes fluidi viribus suis centrifugis destituerentur, seque mutuo non fugerent: si modo fluidi vis elastica ex particularum viribus centrifugis oriatur, & velocitas adeo magna sit ut vires non habeant satis temporis ad agendum.

*Corol. 4.* Proinde cum resistentiæ similibus & æquielocium corporum, in medio cujus partes distantes se mutuo non fugiunt, sint ut quadrata diametrorum; sunt etiam æquielocium & celerrime motorum corporum resistentiæ in fluido elastico ut quadrata diametrorum quam proximè.

T t

Corol.



*Corol. 5.* Et cum corpora similia, æqualia & æquvelocia, in mediis ejusdem densitatis, quorum particulae se mutuo non fugiunt, sive particulae illae sint plures & minores, sive pauciores & majores, in æqualem materiae quantitatem temporibus æqualibus impingant, eique æqualem motus quantitatem imprimant, & vicissim (per motus legem tertiam) æqualem ab eadem reactionem patiantur, hoc est, æqualiter resistantur: manifestum est etiam quod in ejusdem densitatis fluidis elasticis, ubi velocissime moventur, æquales sint eorum resistentiae quam proxime; sive fluida illa ex particulis crassioribus consent, sive ex omnium subtilissimis constituentur. Ex medii subtilitate resistentia projectileum celerrime motorum non multum diminitur.

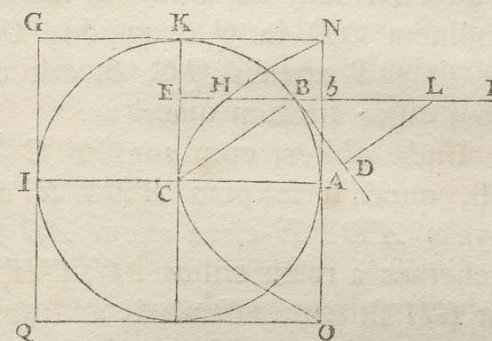
*Corol. 6.* Hæc omnia ita se habent in fluidis, quorum vis elastica ex particularum viribus centrifugis originem ducit. Quod si vis illa aliunde oriatur, veluti ex particularum expansione ad instar lanæ vel ramorum arborum, aut ex alia quavis causa, qua motus particularum inter se redduntur minus liberi: resistentia, ob minorem medii fluiditatem, erit major quam in superioribus corollariis.

## PROPOSITIO XXXIV. THEOREMA XXVIII.

*Si globus & cylindrus æqualibus diametris descripti, in medio raro ex particulis æqualibus & ad æquales ab invicem distantias libere dispositis constante, secundum plagam axis cylindri, æquali cum velocitate moveantur: erit resistentia globi duplo minor quam resistentia cylindri.*

Nam quoniam actio medii in corpus eadem est (per legem corol. 5.) sive corpus in medio quiescente moveatur, sive medii particulae eadem cum velocitate impingant in corpus quiescens: consideremus corpus tanquam quiescens, & videamus quo impetu urgebitur a medio movente. Designet igitur  $ABKI$  corpus sphaericum centro  $C$  semidiametro  $CA$  descriptum, & incidant particulae medii data cum velocitate in corpus illud sphaericum, secundum rectas ipsi  $AC$  parallelas: sitque  $FB$  ejusmodi recta. In ea capiatur  $LB$  semidiametro  $CB$  æqualis, & ducatur  $BD$  quæ sphaeram tangat in  $B$ . In  $KC$  &  $BD$  demittantur perpendiculares  $BE$ ,  $LD$ , & vis qua particula

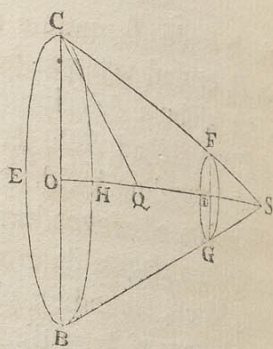
ticula medii, secundum rectam  $FB$  oblique incidendo, globum ferit in  $B$ , erit ad vim qua particula eadem cylindrum  $ONGQ$  axe  $ACI$  circa globum descriptum perpendiculariter feriret in  $b$ , ut  $LD$  ad  $LB$  vel  $BE$  ad  $BC$ . Rursus efficacia hujus vis ad movendum globum secundum incidentiæ suæ plagam  $FB$  vel  $AC$ , est ad ejusdem efficaciam ad movendum globum secundum plagam determinationis suæ, id est, secundum plagam rectæ  $BC$  qua globum directe urget ut  $BE$  ad  $BC$ . Et conjunctis rationibus, efficacia particulae in globum secundum rectam  $FB$  oblique incidentis, ad movendum eundem secundum plagam incidentiæ suæ, est ad efficaciam particulae ejusdem secundum eandem rectam in cylindrum perpendiculariter incidentis, ad ipsum movendum in plagam eandem, ut  $BE$  quadratum ad  $BC$  quadratum. Quare si in  $bE$ , quæ perpendicularis est ad cylindri basem circulem  $NAO$  & æqualis radio  $AC$ , sumatur  $bH$  æqualis  $\frac{BE \text{ quad.}}{CB}$ : erit  $bH$  ad  $bE$  ut effectus particulae in globum ad effectum particulae in cylindrum. Et propterea solidum quod a rectis omnibus  $bH$  occupatur erit ad solidum quod a rectis omnibus  $bE$  occupatur, ut effectus particularum omnium in globum ad effectum particularum omnium in cylindrum. Sed solidum prius est parabolis vertice  $C$ , axe  $CA$  & latere recto  $CA$  descriptum, & solidum posterius est cylindrus paraboloidi circumscriptus: & notum est quod parabolis sit semisyllis cylindri circumscripti. Ergo vis tota medii in globum est duplo minor quam ejusdem vis tota in cylindrum. Et propterea si particulae medii quiescerent, & cylindrus ac globus æquali cum velocitate moverentur, foret resistentia globi duplo minor quam resistentia cylindri.  $Q. E. D.$

*Scholium.*

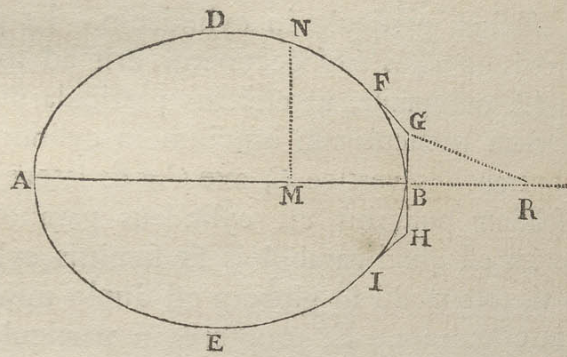
Eadem methodo figuræ aliæ inter se quoad resistentiam comparari possunt, æque inveniri quæ ad motus suos in mediis resistentibus continuandos aptiores sunt. Ut si base circulari  $CEBH$ , quæ centro



centro  $O$ , radio  $OC$  describitur, & altitudine  $OD$ , construendum sit frustum conici  $CBGF$ , quod omnium eadem basi & altitudine constructorum & secundum plagam axis sui versus  $D$  progredientium frustorum minime resistatur: biseca altitudinem  $OD$  in  $Q$  & produc  $OQ$  ad  $S$  ut sit  $QS$  æqualis  $QC$ , & erit  $S$  vertex conici cujus frustum quæritur.



Unde obiter, cum angulus  $CSB$  semper sit acutus, consequens est, quod si solidum  $ADBE$  convoluzione figuræ ellipticæ vel ovalis  $ADBE$  circa axem  $AB$  facta generetur, & tangatur figura generans a rectis tribus  $FG$ ,  $GH$ ,  $HI$  in punctis  $F$ ,  $B$  &  $I$ , ea lege ut  $GH$  sit perpendicularis ad axem in puncto contactus  $B$ , &  $FG$ ,  $HI$  cum eadem  $GH$  contineant angulos  $FGB$ ,  $BHI$  graduum 135, solidum, quod convoluzione figuræ  $ADFGHIE$  circa axem eundem  $AB$  generatur, minus refistitur quam solidum prius; si modo utrumque secundum plagam axis sui  $AB$  progrediatur, & utriusque terminus  $B$  præcedat. Quam quidem propositionem in construendis navibus non inutilem futuram esse censeo.



Quod si figura *DNFG* ejusmodi sit curva, ut, si ab ejus puncto quovis *N* ad axem *AB* demittatur perpendicularum *NM*, & a puncto dato *G* ducatur recta *GR* quæ parallela sit rectæ figuram tangenti in *N*, & axem productum secet in *R*, fuerit *MN* ad *GR* ut *GR cub.* ad  $4BR \times GBq$ ; solidum quod figuræ hujus revolutione circa axem *AB* facta describitur, in medio raro prædicto ab *A* versus

us *B* movendo, minus resistetur quam aliud quodvis eadem longi-  
tudine & latitudine descriptum solidum circulare.

PROPOSITIO XXXV. PROBLEMA VII.

*Si medium rarum ex particularis quam minimis quiescentibus equalibus & ad equales ab invicem distantias libere dispositis constet: invenire resistentiam globi in hoc medio uniformiter progredientis.*

*Caf. 1.* Cylindrus eadem diametro & altitudine defcriptus progredi intelligatur eadem velocitate fecundum longitudinem axis fui in eodem medio. Et ponamus quod particulae medii, in quas globus vel cylindrus incidit, vi reflexionis quam maxima reflit, Et cum refiftentia globi (per propofitionem noviffimam) fit duplo minor quam refiftentia cylindri, & globus fit ad cylindrum ut duo ad tria, & cylindrus incidendo perpendiculariter in particulas, ipfaeque quam maxime reflectendo, duplam fui ipfius velocitatem ipsis communicet : cylindrus, quo tempore dimidiam longitudinem axis fui uniformiter progrediendo defcribit, communicabit motum particulis, qui fit ad totum cylindri motum ut denfitas medii ad denfittatem cylindri ; & globus, quo tempore totam longitudinem diametri fuæ uniformiter progrediendo defcribit, communicabit motum eundem particulis ; & quo tempore duas tertias partes diametri fuæ defcribit, communicabit motum particulis, qui fit ad totum globi motum ut denfitas medii ad denfittatem globi. Et propterea globus refiftentiam patitur, quæ fit ad vim qua totus ejus motus vel auferri poffit vel generari quo tempore duas tertias partes diametri fuæ uniformiter progrediendo defcribit, ut denfitas medii ad denfittatem globi.

*Caf. 2.* Ponamus quod particulæ medii in globum vel cylindrum incidentes non reflectantur; & cylindrus incidendo perpendiculariter in particulâ simplicem suam velocitatem ipsis communicabit, ideoque resistentiam patitur duplo minorem quam in priore casu, & resistentia globi erit etiam duplo minor quam prius.

*Caf. 3.* Ponamus quod particulæ medii vi reflexionis neque maxima neque nulla, sed mediocri aliqua resiliant a globo; & resiliencia



stentia globi erit in eadem ratione mediocri inter resistentiam in primo casu & resistentiam in secundo. Q. E. I.

Corol. 1. Hinc si globus & particulae sint infinite dura, & vi omni elastica & propterea etiam vi omni reflexionis destituta: resistentia globi erit ad vim qua totus ejus motus vel auferri possit vel generari, quo tempore globus quatuor tertias partes diametri suae describit, ut densitas medii ad densitatem globi.

Corol. 2. Resistentia globi, caeteris paribus, est in duplicata ratione velocitatis.

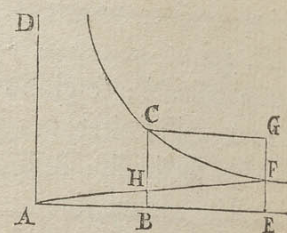
Corol. 3. Resistentia globi, caeteris paribus, est in duplicata ratione diametri.

Corol. 4. Resistentia globi, caeteris paribus, est ut densitas medii.

Corol. 5. Resistentia globi est in ratione quae componitur ex duplicata ratione velocitatis & duplicata ratione diametri & ratione densitatis medii.

Corol. 6. Et motus globi cum ejus resistentia sic exponi potest. Sit  $AB$  tempus quo globus per resistentiam suam uniformiter continuatam totum suum motum amittere potest. Ad  $AB$  erigantur perpendiculara  $AD, BC$ . Sitque  $BC$  motus ille totus, & per punctum  $C$  asymptotis  $AD, AB$  describatur hyperbola  $CF$ . Producat  $AB$  ad punctum quodvis  $E$ . Erigatur perpendicularum  $EF$  hyperbolae occurrens in  $F$ . Compleatur parallelogrammum  $CBEF$ , & agatur  $AF$  ipsi  $BC$  occurrens in  $H$ . Et si globus tempore quovis  $BE$ , motu suo primo  $BC$  uniformiter continuato, in medio non resistente describat spatium  $CBEF$  per aream parallelogrammi expositum, idem in medio resistente describet spatium  $CBEF$  per aream hyperbolae expositum, & motus ejus in fine temporis illius exponetur per hyperbolae ordinatam  $EF$ , amissa motus ejus parte  $FG$ . Et resistentia ejus in fine temporis ejusdem exponetur per longitudinem  $BH$ , amissa resistentiae parte  $CH$ . Patent haec omnia per corol. 1. & 3. prop. v. lib. II.

Corol. 7. Hinc si globus tempore  $T$  per resistentiam  $R$  uniformiter continuatam amittat motum suum totum  $M$ : idem globus tempore  $t$  in medio resistente, per resistentiam  $R$  in duplicata velocitatis ratione decrescentem, amittet motus sui  $M$  partem  $\frac{tM}{T+t}$ , manente



nente parte  $\frac{tM}{T+t}$ ; & describet spatium quod sit ad spatium motu uniformi  $M$  eodem tempore  $t$  descriptum, ut logarithmus numeri  $\frac{T+t}{T}$  multiplicatus per numerum 2,302585092994 est ad numerum  $\frac{t}{T}$  propterea quod area hyperbolica  $BCFE$  est ad rectangulum  $BCE$  in hac proportionem.

## Scholium.

In hac propositione exposui resistentiam & retardationem projectionum sphaericorum in mediis non continuis, & ostendi quod haec resistentia sit ad vim qua totus globi motus vel tolli possit vel generari quo tempore globus duas tertias diametri suae partes velocitate uniformiter continuata describat, ut densitas medii ad densitatem globi, si modo globus & particulae medii sint summe elastica & vi maxima reflectendi polleant: quodque haec vis sit duplo minor ubi globus & particulae medii sunt infinite dura & vi reflectendi prorsus destituta. In mediis autem continuis qualia sunt aqua, oleum calidum, & argentum vivum, in quibus globus non incidit immediate in omnes fluidi particulas resistentiam generantes, sed premit tantum proximas particulas & haec premunt alias & haec alias, resistentia est adhuc duplo minor. Globus utique in hujusmodi mediis fluidissimis resistentiam patitur quae est ad vim qua totus ejus motus vel tolli possit vel generari quo tempore, motu illo uniformiter continuato, partes octo tertias diametri suae describat, ut densitas medii ad densitatem globi. Id quod in sequentibus conabimur ostendere.

## PROPOSITIO XXXVI. PROBLEMA VIII.

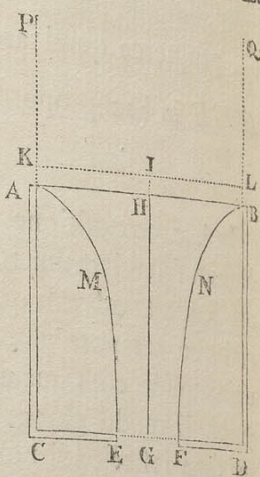
Aque de vase cylindrico per foramen in fundo factum effluentis definire motum.

Sit  $ACDB$  vas cylindricum,  $AB$  ejus orificium superius,  $CD$  fundum horizonti parallelum,  $EF$  foramen circulare in medio fundi,  $G$  centrum foraminis, &  $GH$  axis cylindri horizonti perpendicularis. Et finge cylindrum glaciei  $APQB$  ejusdem esse latitudinis cum



cum cavitate vasis, & axem eundem habere, & uniformi cum motu perpetuo descendere, & partes ejus quam primum attingunt superficiem *AB* liquefcere, & in aquam conversas gravitate sua defluere in vas, & cataractam vel columnam aquæ *ABNFEM* cadendo formare, & per foramen *EF* transire, idemque adæquate implere. Ea vero sit uniformis velocitas glaciei descendens ut & aquæ contiguæ in circulo *AB*, quam aqua cadendo & casu suo describendo altitudinem *IH* acquirere potest; & jaceant *IH* & *HG* in directum, & per punctum *I* ducatur recta *KL* horizonti parallela & lateribus glaciei occurrens in *K* & *L*. Et velocitas aquæ effluentis per foramen *EF* ea erit quam aqua cadendo ab *I* & casu suo describendo altitudinem *IG* acquirere potest. Ideoque per theorematum *Galilei* erit *IG* ad *IH* in duplicata ratione velocitatis aquæ per foramen effluentis ad velocitatem aquæ in circulo *AB*, hoc est, in duplicata ratione circuli *AB* ad circulum *EF*; nam hi circuli sunt reciproce ut velocitates aquarum quæ per ipsos, eodem tempore & æquali quantitate, adæquate transeunt. De velocitate aquæ horizontem versus hic agitur. Et motus horizonti parallelus quo partes aquæ cadentis ad invicem accedunt, cum non oriatur a gravitate, nec motum horizonti perpendicularem a gravitate oriundum mutet, hic non consideratur. Supponimus quidem quod partes aquæ aliquantulum cohærent, & per cohæsiorem suam inter cadendum accedant ad invicem per motus horizonti parallelos, ut unicam tantum efforment cataractam & non in plures cataractas dividantur: sed motum horizonti parallelum, a cohæsiore illa oriundum, hic non consideramus.

*Cas. 1.* Concipe jam cavitationem totam in vase, in circuitu aquæ cadentis *ABNFEM*, glacie plenam esse, ut aqua per glaciem tantum per infundibulum transeat. Et si aqua glaciem tantum non tangat, vel, quod perinde est, si tangat & per glaciem propter summam ejus polituram quam liberrime & sine omni resistentia labatur; hæc defluet per foramen *EF* eadem velocitate ac prius, & pondus totum columnæ aquæ *ABNFEM* impendetur in defluxum ejus



generandum uti prius, & fundum vasis sustinebit pondus glaciei columnam ambientis.

Liquefcet jam glacies in vase; & effluxus aquæ, quoad velocitatem, idem manebit ac prius. Non minor erit, quia glacies in aquam resoluta non potest descendere nisi impediendo descensum aquæ alterius descensui suo æqualem. Eadem vis eandem aquæ effluentis velocitatem generare debet.

Sed foramen in fundo vasis, propter obliquos motus particularum aquæ effluentis, paulo majus esse debet quam prius. Nam particularæ aquæ jam non transeunt omnes per foramen perpendiculariter; sed a lateribus vasis undique confluentes & in foramen convergentes, obliquis transeunt motibus; & cursum suum deorsum flectentes in venam aquæ exilientis conspirant, quæ exilior est paulo infra foramen quam in ipso foramine, existente ejus diametro ad diametrum foraminis ut 5 ad 6, vel 5½ ad 6½ quam proxime, si modo diametros recte dimensus sum. Parabam utique laminam planam pertenuem in medio perforatam, existente circularis foraminis diametro partium quinque octavarum digiti. Et ne vena aquæ exilientis cadendo acceleraretur & acceleratione redderetur anguilior, hanc laminam non fundo sed lateri vasis affixi sic, ut vena illa egredieretur secundum lineam horizonti parallelam. Dein ubi vas aqua plenum esset, aperui foramen ut aqua efflueret; & venæ diameter, ad distantiam quasi dimidii digiti a foramine quam accuratissime mensurata, prodit partium viginti & unius quadragesimarum digiti. Erat igitur diameter foraminis hujus circularis ad diametrum venæ ut 25 ad 21 quamproxime. Aqua igitur transeundo per foramen, convergit undique, & postquam effluxit ex vase, tenuior redditur convergendo, & per attenuationem acceleratur donec ad distantiam semissis digiti a foramine pervenerit, & ad distantiam illam tenuior & celerior sit quam in ipso foramine in ratione 25 x 25 ad 21 x 21 seu 17 ad 12 quamproxime, id est in subduplicata ratione binarii ad unitatem circiter. Per experimenta vero constat quod quantitas aquæ, quæ per foramen circulare in fundo vasis factum, dato tempore effluit, ea sit quæ cum velocitate prædicta, non per foramen illud, sed per foramen circulare, cujus diameter est ad diametrum foraminis illius ut 21 ad 25, eodem tempore effluere debet. Ideoque

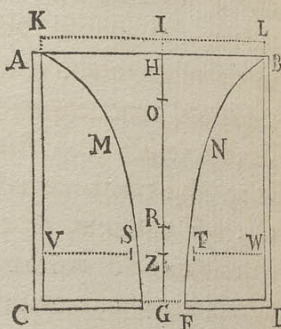
U u

que



que aqua illa effluens velocitatem habet deorsum in ipso foramine quam grave cadendo & casu suo describendo dimidiam altitudinem aquæ in vase stagnantis acquirere potest quamproxime. Sed postquam exivit ex vase, acceleratur convergendo donec ad distantiam a foramine diametro foraminis prope æqualem pervenerit, & velocitatem acquisiverit majorem in ratione subduplicata binarii ad unitatem circiter; quam utique grave cadendo, & casu suo describendo totam altitudinem aquæ in vase stagnantis, acquirere potest quamproxime.

In sequentibus igitur diameter venæ designetur per foramen illud minus quod vocavimus *EF*. Et plano foraminis *EF* parallellum duci intelligatur planum aliud superius *VW* ad distantiam diametro foraminis æqualem circiter & foramine majore *ST* pertusum; per quod utique vena cadat, quæ adæquate impleat foramen inferius *EF*, atque ideo cujus diameter sit ad diametrum foraminis inferioris ut 25 ad 21 circiter. Sic enim vena per foramen inferius perpendiculariter transibit; & quantitas aquæ effluentis, pro magnitudine foraminis hujus, ea erit quam solutio problematis postulat quamproxime. Spatium vero, quod planis duobus & vena cadente clauditur, pro fundo vasis haberi potest. Sed ut solutio problematis simplicior sit & magis mathematica, præstat adhibere planum solum inferius pro fundo vasis, & fingere quod aqua quæ per glaciem ceu per infundibulum defluebat, & e vase per foramen *EF* in plano inferiore factum egrediebatur, motum suum perpetuo servet, & glacies quietem suam. In sequentibus igitur sit *ST* diameter foraminis circularis centro *Z* descripti per quod cataracta effluit ex vase ubi aqua tota in vase fluida est. Et sit *EF* diameter foraminis per quod cataracta cadendo adæquate transit, siue aqua exeat ex vase per foramen illud superius *ST*, siue cadat per medium glaciei in vase tanquam per infundibulum. Et sit diameter foraminis superioris *ST* ad diametrum inferioris *EF* ut 25 ad 21 circiter, & distantia perpendicularis inter plana foraminum æqualis sit diametro foraminis minoris *EF*. Et velocitas aquæ e vase per foramen *ST* exeuntis ea erit in ipso foramine



foramine deorsum quam corpus cadendo a dimidio altitudinis *IZ* acquirere potest: velocitas autem cataractæ utriusque cadentis ea erit in foramine *EF*, quam corpus cadendo ab altitudine tota *IG* acquireret.

*Cas. 2.* Si foramen *EF* non sit in medio fundi vasis, sed fundum alibi perforetur: aqua effluet eadem cum velocitate ac prius, si modo eadem sit foraminis magnitudo. Nam grave majori quidem tempore descendit ad eandem profunditatem per lineam obliquam quam per lineam perpendicularem, sed descendendo eandem velocitatem acquirit in utroque casu, ut *Galileus* demonstravit.

*Cas. 3.* Eadem est aquæ velocitas effluentis per foramen in latere vasis. Nam si foramen parvum sit, ut intervallum inter superficies *AB* & *KL* quoad sensum evanescat, & vena aquæ horizontaliter exilientis figuram parabolicam efformet: ex latere recto hujus parabolæ colligetur, quod velocitas aquæ effluentis ea sit quam corpus ab aquæ in vase stagnantis altitudine *HG* vel *IG* cadendo acquirere potuisset. Facto utique experimento inveni quod, si altitudo aquæ stagnantis supra foramen esset viginti digitorum & altitudo foraminis supra planum horizonti parallelum esset quoque viginti digitorum, vena aquæ proflientis incideret in planum illud ad distantiam digitorum 37 circiter a perpendiculo quod in planum illud a foramine demittebatur captam. Nam sine resistentia, vena incidere debuisset in planum illud ad distantiam digitorum 40, exiliente venæ parabolicæ latere recto digitorum 80.

*Cas. 4.* Quinetiam aqua effluens, si sursum feratur, eadem egreditur cum velocitate. Ascendit enim aquæ exilientis vena parva motu perpendiculari ad aquæ in vase stagnantis altitudinem *GH* vel *GI*, nisi quatenus ascensus ejus ab aeris resistentia aliquantulum impediatur; ac proinde ea effluit cum velocitate quam ab altitudine illa cadendo acquirere potuisset. Aquæ stagnantis particula unaquæque undique premittitur æqualiter (per prop. XIX. lib. 2.) & pressioni cedendo æquali impetu in omnes partes fertur, siue descendat per foramen in fundo vasis, siue horizontaliter effluat per foramen in ejus latere, siue egrediatur in canalem & inde ascendat per foramen parvum in superiore canalis parte factum. Et velocitatem qua aqua effluit eam esse, quam in hac propositione assignavimus,

U u 2

mus,





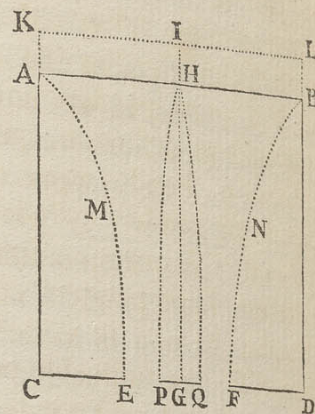


334 PHILOSOPHIÆ NATURALIS

DE MOTU  
CORPORUM

sis est circellus ille & altitudo est  $GH$ . Sit enim  $ABNFEM$  cataracta vel columna aquæ cadentis axem habens  $GH$  ut supra, & congelari intelligatur aqua omnis in vase, tam in circuitu cataractæ quam supra circellum, cujus fluiditas ad promptissimum & celerrimum aquæ descensum non requiritur. Et sit  $PHQ$  columna aquæ supra circellum congelata, verticem habens  $H$  & altitudinem  $GH$ . Et finge cataractam hancce pondere suo toto cadere, & non incumbere in  $PHQ$  nec eandem premere, sed libere & sine frictione præterlabi, nisi forte in ipso glaciei vertice quo cataracta ipso cadendi initio incipiat esse cava. Et quemadmodum aqua in circuitu cataractæ congelata  $AMEC$ ,  $BNFD$  convexa est in superficie interna  $AME$ ,  $BNF$  versus cataractam cadentem, sic etiam hæc columna  $PHQ$  convexa erit versus cataractam, & propterea major cono cujus basis est circellus ille  $PQ$  & altitudo  $GH$ , id est, major tertia parte cylindri eadem base & altitudine descripti. Sustinet autem circellus ille pondus hujus columnæ, id est, pondus quod pondere cono seu tertiæ partis cylindri illius majus est.

*Corol. 8.* Pondus aquæ quam circellus valde parvus  $PQ$  sustinet, minor esse videtur pondere duarum tertiarum partium cylindri aquæ cujus basis est circellus ille & altitudo est  $HG$ . Nam stantibus jam positis, describi intelligatur dimidium sphæroidis cujus basis est circellus ille & semiaxis sive altitudo est  $HG$ . Et hæc figura æqualis erit duabus tertiis partibus cylindri illius & comprehendet columnam aquæ congelatæ  $PHQ$  cujus pondus circellus ille sustinet. Nam ut motus aquæ sit maxime directus, columnæ illius superficies externa concurret cum basi  $PQ$  in angulo nonnihil acuto, propterea quod aqua cadendo perpetuo acceleratur & propter accelerationem fit tenuior; & cum angulus ille sit recto minor, hæc columna ad inferiores ejus partes jacebit intra dimidium sphæroidis. Eadem vero fursum acuta erit seu cuspidata, ne horizontalis motus aquæ ad verticem sphæroidis sit infinite velocior quam ejus motus horizontem versus. Et quo minor est circellus  $PQ$  eo acutior



335 PRINCIPIA MATHEMATICA. LIBER  
SECUNDUS.

acutior erit vertex columnæ; & circello in infinitum diminuto, angulus  $PHQ$  in infinitum diminuetur, & propterea columna jacebit intra dimidium sphæroidis. Est igitur columna illa minor dimidio sphæroidis, seu duabus tertiis partibus cylindri cujus basis est circellus ille & altitudo  $GH$ . Sustinet autem circellus vim aquæ ponderi hujus columnæ æqualem, cum pondus aquæ ambiens in defluxum ejus impendatur.

*Corol. 9.* Pondus aquæ quam circellus valde parvus  $PQ$  sustinet, æquale est ponderi cylindri aquæ cujus basis est circellus ille & altitudo est  $\frac{1}{2}GH$  quamproxime. Nam pondus hocce est medium arithmeticum inter pondera cono & hemisphæroidis prædictæ. At si circellus ille non sit valde parvus, sed augeatur donec æquet foramen  $EF$ ; hic sustinebit pondus aquæ totius sibi perpendiculariter imminens, id est, pondus cylindri aquæ cujus basis est circellus ille & altitudo est  $GH$ .

*Corol. 10.* Et (quantum sentio) pondus quod circellus sustinet, est semper ad pondus cylindri aquæ, cujus basis est circellus ille & altitudo est  $\frac{1}{2}GH$ , ut  $EFq$  ad  $EFq - \frac{1}{2}PQq$ , sive ut circulus  $EF$  ad excessum circuli hujus supra semissem circelli  $PQ$  quamproxime.

#### LEMMA IV.

*Cylindri, qui secundum longitudinem suam uniformiter progrediuntur, resistentia ex aucta vel diminuta ejus longitudine non mutatur; ideoque eadem est cum resistentia circuli eadem diametro descripti & eadem velocitate secundum lineam rectam plano ipsius perpendicularem progredientis.*

Nam latera cylindri motui ejus minime opponuntur: & cylindrus, longitudine ejus in infinitum diminuta, in circulum vertitur.

PROPO.



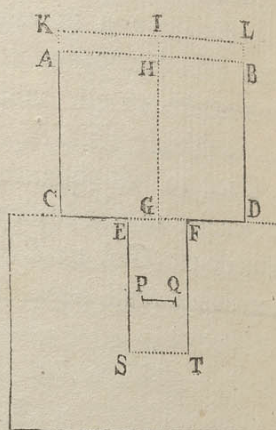
PROPOSITIO XXXVII. THEOREMA XXIX.

*Cylindri, qui in fluido compresso infinito & non elastico secundum longitudinem suam uniformiter progreditur, resistentia, quæ oritur a magnitudine sectionis transversæ, est ad vim qua totus ejus motus, interea dum quadruplum longitudinis suæ describit, vel tolli possit vel generari, ut densitas medi ad densitatem cylindri quamproxime.*

Nam si vās  $ABDC$  fundo suo  $CD$  superficiem aquæ stagnantis tangat, & aqua ex hoc vase per canalem cylindricum  $EFTS$  horizonti perpendicularem in aquam stagnantem effluat, locetur autem circellus  $PQ$  horizonti parallelus ubivis in medio canalis, & producat  $CA$  ad  $K$ , ut sit  $AK$  ad  $CK$  in duplicata ratione quam habet excessus orificii canalis  $EF$  supra circellum  $PQ$  ad circulum  $AB$ : manifestum est (per cas. 5. cas. 6. & cor. 1. prop. xxxvi.) quod velocitas aquæ transeuntis per spatium annulare inter circellum & latera vasis, ea erit quam aqua cadendo & casu suo describendo altitudinem  $KC$  vel  $IG$  acquirere potest.

Et (per corol. x. prop. xxxvi.) si vasis latitudo sit infinita, ut lineola  $HI$  evanescat & altitudines  $IG$ ,  $HG$  æquantur: vis aquæ defluentis in circellum erit ad pondus cylindri cujus basis est circellus ille & altitudo est  $\frac{1}{2}IG$ , ut  $EFq$  ad  $EFq - \frac{1}{2}PQq$  quam proxime. Nam vis aquæ, uniformi motu defluentis per totum canalem, eadem erit in circellum  $PQ$  in quacunque canalis parte locatum.

Claudentur jam canalis orificia  $EF$ ,  $ST$ , & ascendat circellus in fluido undique compresso & ascensu suo cogat aquam superiorem descendere per spatium annulare inter circellum & latera canal: & velocitas circelli ascendentis erit ad velocitatem aquæ descendentis ut differentia circulorum  $EF$  &  $PQ$  ad circulum  $PQ$ , & velocitas circelli ascendentis ad summam velocitatum, hoc est, ad veloci-



velocitatem relativam aquæ descendentis qua præterfluit circellum ascendentem, ut differentia circulorum  $EF$  &  $PQ$  ad circulum  $EF$ , five ut  $EFq - PQq$  ad  $EFq$ . Sit illa velocitas relativa æqualis velocitati, qua supra ostensum est aquam transire per idem spatium annulare dum circellus interea immotus manet, id est, velocitati quam aqua cadendo & casu suo describendo altitudinem  $IG$  acquirere potest: & vis aquæ in circellum ascendentem eadem erit ac prius (per legum corol. v.) id est, resistentia circelli ascendentis erit ad pondus cylindri aquæ cujus basis est circellus ille & altitudo est  $\frac{1}{2}IG$ , ut  $EFq$  ad  $EFq - \frac{1}{2}PQq$  quamproxime. Velocitas autem circelli erit ad velocitatem, quam aqua cadendo & casu suo describendo altitudinem  $IG$  acquirit, ut  $EFq - PQq$  ad  $EFq$ .

Augeatur amplitudo canalis in infinitum: & rationes illæ inter  $EFq - PQq$  &  $EFq$ , interque  $EFq$  &  $EFq - \frac{1}{2}PQq$  accedent ultimo ad rationes æqualitatis. Et propterea velocitas circelli ea nunc erit quam aqua cadendo & casu suo describendo altitudinem  $IG$  acquirere potest, resistentia vero ejus æqualis evadet ponderi cylindri cujus basis est circellus ille & altitudo dimidium est altitudinis  $IG$ , a qua cylindrus cadere debet ut velocitatem circelli ascendentis acquirat; & hac velocitate cylindrus, tempore cadendi, quadruplum longitudinis suæ describet. Resistentia autem cylindri, hac velocitate secundum longitudinem suam progredientis, eadem est cum resistentia circelli (per lemma iv.) ideoque æqualis est vi qua motus ejus, interea dum quadruplum longitudinis suæ describit, generari potest quamproxime.

Si longitudo cylindri augeatur vel minuatur: motus ejus ut & tempus, quo quadruplum longitudinis suæ describit, augebitur vel minuetur in eadem ratione; ideoque vis illa, qua motus auctus vel diminutus, tempore pariter aucto vel diminuto, generari vel tolli possit, non mutabitur; ac proinde etiamnum æqualis est resistentiæ cylindri, nam & hæc quoque immutata manet per lemma iv.

Si densitas cylindri augeatur vel minuatur: motus ejus ut & vis qua motus eodem tempore generari vel tolli potest, in eadem ratione augebitur vel minuetur. Resistentia itaque cylindri cujuscunque erit ad vim qua totus ejus motus, interea dum quadruplum longitu-

X x



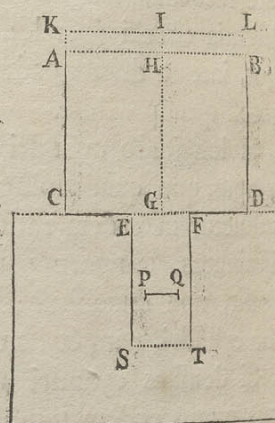
longitudinis suæ describit, vel generari possit vel tolli, ut densitas  
medii ad densitatem cylindri quamproxime. *Q. E. D.*

Fluidum autem comprimi debet ut sit continuum, continuum  
vero esse debet & non elasticum ut pressio omnis, quæ ab ejus com-  
pressione oritur, propagetur in instanti, & in omnes moti corporis  
partes æqualiter agendo resistentiam non mutet. Pressio utique, quæ  
a motu corporis oritur, impenditur in motum partium fluidi gene-  
randum & resistentiam creat. Pressio autem quæ oritur a compres-  
sione fluidi, utcunque fortis sit, si propagetur in instanti, nullum  
generat motum in partibus fluidi continui, nullam omnino inducit  
motus mutationem; ideoque resistentiam nec auget nec minuit.  
Certe actio fluidi, quæ ab ejus compressione oritur, fortior esse non  
potest in partes posticas corporis moti quam in ejus partes anticas,  
ideoque resistentiam in hac propositione descriptam minuere non  
potest: & fortior non erit in partes anticas quam in posticas, si  
modo propagatio ejus infinite velocior sit quam motus corporis  
pressi. Infinite autem velocior erit & propagabitur in instanti, si  
modo fluidum sit continuum & non elasticum.

*Corol. 1.* Cylindrorum, qui secundum longitudines suas in mediis  
continuis infinitis uniformiter progrediuntur, resistentiæ sunt in ra-  
tione quæ componitur ex duplicata ratione velocitatum & dupli-  
cata ratione diametrorum & ratione densitatis mediorum.

*Corol. 2.* Si amplitudo canalis non au-  
geatur in infinitum, sed cylindrus in me-  
dio quiescente incluso secundum longitu-  
dinem suam progrediatur, & interea axis  
ejus cum axe canalis coincidat: resisten-  
tia ejus erit ad vim qua totus ejus motus,  
quo tempore quadruplum longitudinis suæ  
describit, vel generari possit vel tolli, in ra-  
tione quæ componitur ex ratione  $EFq$  ad  
 $EFq - \frac{1}{2}PQq$  semel, & ratione  $EFq$  ad  
 $EFq - PQq$  bis, & ratione densitatis me-  
dii ad densitatem cylindri.

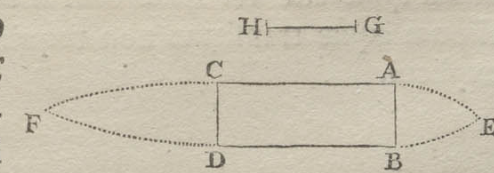
*Corol. 3.* Iisdem positis, & quod longitudo  $L$  sit ad quadruplum  
longitudinis cylindri in ratione quæ componitur ex ratione  $EFq -$   
 $\frac{1}{2}PQq$



$\frac{1}{2}PQq$  ad  $EFq$  semel, & ratione  $EFq - PQq$  ad  $EFq$  bis: resi-  
stentia cylindri erit ad vim qua totus ejus motus, interea dum lon-  
gitudinem  $L$  describit, vel tolli possit vel generari, ut densitas me-  
dii ad densitatem cylindri.

*Scholium.*

In hac propositione resistentiam investigavimus quæ oritur a sola  
magnitudine transversæ sectionis cylindri, neglecta resistentiæ parte  
quæ ab obliquitate motuum oriri possit. Nam quemadmodum in  
casu primo propositionis xxxvi. obliquitas motuum, quibus partes a-  
quæ in vase, undique convergebant in foramen  $EF$ , impedivit ef-  
fluxum aquæ illius per foramen: sic in hac propositione, obliquitas  
motuum, quibus partes aquæ ab anteriore cylindri termino pressæ,  
cedunt pressioni & undique divergunt, retardat eorum transitum  
per loca in circuitu termini illius antecedentis versus posteriores  
partes cylindri, efficitque ut fluidum ad majorem distantiam com-  
moveatur & resistentiam auget, idque in ea fere ratione qua efflux-  
um aquæ e vase diminuit, id est, in ratione duplicata 25 ad 21 cir-  
citer. Et quemadmodum, in propositionis illius casu primo, effe-  
cimus ut partes aquæ perpendiculariter & maxima copia transirent  
per foramen  $EF$ , ponendo quod aqua omnis in vase quæ in cir-  
cuitu cataractæ congelata fuerat, & cujus motus obliquus erat &  
inutilis, maneret sine motu: sic in hac propositione, ut obliquitas  
motuum tollatur, & partes aquæ motu maxime directo & brevif-  
simo cedentes facillimum præbeant transitum cylindro, & sola ma-  
neat resistentia, quæ oritur a magnitudine sectionis transversæ, quæ-  
que diminui non potest nisi diminuendo diametrum cylindri, con-  
cipiendum est quod partes fluidi, quarum motus sunt obliqui & in-  
utiles & resistentiam creant, quiescant inter se ad utrumque cylin-  
dri terminum, & cohæreant & cy-  
lindro jungantur. Sit  $ABCD$

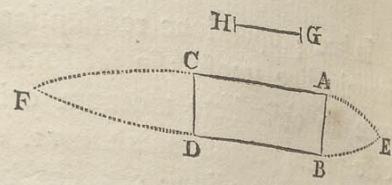


rectangulum, & sint  $AE$  &  $BE$   
arcus duo parabolici axe  $AB$  de-  
scripti, latere autem recto quod  
sit ad spatium  $HG$ , describendum  
a cylindro cadente dum velocitatem suam acquirit, ut  $HG$  ad  $\frac{1}{2}AB$ .  
Sint etiam  $CF$  &  $DF$  arcus alii duo parabolici, axe  $CD$  & latere  
recto

X x 2



340 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
DE MOTU recto quod fit prioris lateris recti quadruplum descripti; & con-  
CORPORUM volutione figuræ circum axem *EF* generetur solidum cujus media  
pars *ABDC* sit cylindrus de quo agimus, & partes extremæ  
*ABE* & *CDF* contineant partes fluidi inter se quiescentes & in  
corpora duo rigida concretas, quæ cylindro utrinque tanquam  
caput & cauda adhæreant. Et so-  
lidi *EACFDB*, secundum longi-  
tudinem axis sui *FE* in partes ver-  
sus *E* progredientis, resistentia ea  
erit quamproxime quam in hac  
propositione descripsimus, id est,  
quæ rationem illam habet ad vim qua totus cylindri motus, in-  
terea dum longitudo *4AC* motu illo uniformiter continuato descri-  
batur, vel tolli possit vel generari, quam densitas fluidi habet ad  
densitatem cylindri quamproxime. Et hac vi resistentia minor esse  
non potest quam in ratione 2 ad 3, per corol. 7. prop. xxxvi.



LEMMA V.  
*Si cylindrus, sphaera & sphaeroides, quorum latitudines sunt æ-  
quales, in medio canalis cylindrici ita locentur successive ut  
eorum axes cum axe canalis coincident: hæc corpora fluxum  
aquæ per canalem æqualiter impediunt.*

Nam spatia inter canalem & cylindrum, sphaeram, & sphaeroidem  
per quæ aqua transit, sunt æqualia: & aqua per æqualia spatia æ-  
qualiter transit.

Hæc ita se habent ex hypothese, quod aqua omnis supra cylin-  
dram sphaeram vel sphaeroidem congelatur, cujus fluiditas ad celer-  
ritatem aquæ transitum non requiritur, ut in corol. vii. prop. xxxvi.  
explicui.

LEMMA

PRINCIPIA MATHEMATICA. 341

LIBER  
SECUNDUS.

LEMMA VI.

*Isdem positis, corpora prædicta æqualiter urgentur ab aqua  
per canalem fluente.*

Patet per lemma v. & motus legem tertiam. Aqua utique &  
corpora in se mutuo æqualiter agunt.

LEMMA VII.

*Si aqua quiescat in canali, & hæc corpora in partes contrarias  
æquali velocitate per canalem ferantur: æquales erunt eo-  
rum resistentiæ inter se.*

Constat ex lemmate superiore, nam motus relativi iidem inter se  
manent.

Scholium.

Eadem est ratio corporum omnium convexorum & rotundorum,  
quorum axes cum axe canalis coincidunt. Differentia aliqua ex ma-  
jore vel minore frictione oriri potest; sed in his lemmatis corpora  
esse politissima supponimus, & medii tenacitatem & frictionem esse  
nullam, & quod partes fluidi, quæ motibus suis obliquis & super-  
fluis fluxum aquæ per canalem perturbare, impedire, & retardare  
possunt, quiescant inter se tanquam gelu constrictæ, & corporibus  
ad ipsorum partes anticæ & posticæ adhæreant, perinde ut in scho-  
lio propositionis præcedentis exposui. Agitur enim in sequentibus  
de resistentia omnium minima quam corpora rotunda, datis maxi-  
mis sectionibus transversis descripta, habere possunt.

Corpora fluidis innatantia, ubi moventur in directum, efficiunt  
ut fluidum ad partem anticam ascendat, ad posticam subsidat, præ-  
sertim si figura sint obtusa; & inde resistentiam paulo majorem sen-  
tiunt quam si capite & cauda sint acutis. Et corpora in fluidis  
elasticis mota, si ante & post obtusa sint, fluidum paulo magis con-  
densant ad anticam partem & paulo magis relaxant ad posticam;  
& inde resistentiam paulo majorem sentiunt quam si capite & cau-  
da sint acutis. Sed nos in his lemmatis & propositionibus non agi-  
mus



mus de fluidis elasticis, sed de non elasticis; non de infidentibus fluido, sed de alte immerfis. Et ubi resistentia corporum in fluidis non elasticis innotescit, augenda erit hæc resistentia aliquantulum tam in fluidis elasticis, qualis est aer, quam in superficiebus fluidorum stagnantium, qualia sunt maria & paludes.

## PROPOSITIO XXXVIII. THEOREMA XXX.

*Globi, in fluido compresso infinito & non elastico uniformiter progredientis, resistentia est ad vim qua totus ejus motus, quo tempore octo tertias partes diametri suæ describit, vel tolli possit vel generari, ut densitas fluidi ad densitatem globi quamproxime.*

Nam globus est ad cylindrum circumscriptum ut duo ad tria; & propterea vis illa, quæ tollere possit motum omnem cylindri interea dum cylindrus describat longitudinem quatuor diametrorum, globi motum omnem tollet interea dum globus describat duas tertias partes hujus longitudinis, id est, octo tertias partes diametri propriæ. Resistentia autem cylindri est ad hanc vim quamproxime ut densitas fluidi ad densitatem cylindri vel globi per prop. xxxvii. & resistentia globi æqualis est resistentiæ cylindri per lem. v, vi, vii. Q. E. D.

*Corol. 1.* Globorum, in mediis compressis infinitis, resistentiæ sunt in ratione quæ componitur ex duplicata ratione velocitatis, & duplicata ratione diametri, & ratione densitatis mediorum.

*Corol. 2.* Velocitas maxima quacum globus, vi ponderis sui comparativi, in fluido resistente potest descendere, ea est quam acquirere potest globus idem, eodem pondere, sine resistentia cadendo & casu suo describendo spatium quod sit ad quatuor tertias partes diametri suæ ut densitas globi ad densitatem fluidi. Nam globus tempore casus sui, cum velocitate cadendo acquisita, describet spatium quod erit ad octo tertias diametri suæ, ut densitas globi ad densitatem fluidi; & vis ponderis motum hunc generans, erit ad vim quæ motum eundem generare possit, quo tempore globus octo tertias diametri suæ eadem velocitate describit, ut densitas fluidi

fluidi ad densitatem globi: ideoque per hanc propositionem, vis ponderis æqualis erit vi resistentiæ, & propterea globum accelera-  
re non potest. LIBER  
SECUNDUS.

*Corol. 3.* Data & densitate globi & velocitate ejus sub initio motus, ut & densitate fluidi compressi quiescentis in qua globus movetur; datur ad omne tempus & velocitas globi & ejus resistentia & spatium ab eo descriptum, per corol. vii. prop. xxxv.

*Corol. 4.* Globus in fluido compresso quiescente ejusdem secum densitatis movendo, dimidiam motus sui partem prius amittet quam longitudinem duarum ipsius diametrorum descriperit, per idem corol. vii.

## PROPOSITIO XXXIX. THEOREMA XXXI.

*Globi, per fluidum in canali cylindrico clausum & compressum uniformiter progredientis, resistentia est ad vim, qua totus ejus motus, interea dum octo tertias partes diametri suæ describit, vel generari possit vel tolli, in ratione quæ componitur ex ratione orificii canalis ad excessum hujus orificii supra dimidium circuli maximi globi, & ratione duplicata orificii canalis ad excessum hujus orificii supra circumulum maximum globi, & ratione densitatis fluidi ad densitatem globi quamproxime.*

Patet per corol. 2. prop. xxxvii. procedit vero demonstratio quemadmodum in propositione præcedente.

## Scholium.

In propositionibus duabus novissimis (perinde ut in lem. v.) suppono quod aqua omnis congelatur quæ globum præcedit, & cujus fluiditas auget resistentiam globi. Si aqua illa omnis liquecat, augetur resistentia aliquantulum. Sed augmentum illud in his propositionibus parvum erit & negligi potest, propterea quod convexa superficies globi totum fere officium glaciei faciat.

PROPO.



## PROPOSITIO XL. PROBLEMA IX.

*Globi, in medio fluidissimo compresso progredientis, invenire resistentiam per phaenomena.*

Sit A pondus globi in vacuo, B pondus ejus in medio resistente, D diameter globi, F spatium quod sit ad  $\frac{1}{4}$  D ut densitas globi ad densitatem medii, id est, ut A ad A — B, G tempus quo globus pondere B sine resistencia cadendo describit spatium F, & H velocitas quam globus hoc casu suo acquirit. Et erit H velocitas maxima quam cum globus, pondere suo B, in medio resistente potest descendere, per corol. 2. prop. xxxviii. & resistencia, quam globus ea cum velocitate descendens patitur, æqualis erit ejus ponderi B: resistencia vero, quam patitur in alia quacunque velocitate, erit ad pondus B in duplicata ratione velocitatis hujus ad velocitatem illam maximam H, per corol. 1. prop. xxxviii.

Hæc est resistencia quæ oritur ab inertia materiæ fluidi. Ea vero quæ oritur ab elasticitate, tenacitate, & frictione partium ejus, sic investigabitur.

Demittatur globus ut pondere suo B in fluido descendat; & sit P tempus cadendi, idque in minutis secundis si tempus G in minutis secundis habeatur. Inveniatur numerus absolutus N qui congruit logarithmo  $0,4342944819 \frac{2P}{G}$ , sitque L logarithmus numeri

$\frac{N+1}{N}$ : & velocitas cadendo acquisita erit  $\frac{N-1}{N+1}$  H, altitudo autem

descripta erit  $\frac{2PF}{G} - 1,3862943611 F + 4,605170186 LF$ . Si fluidum satis profundum sit, negligi potest terminus  $4,605170186 LF$ ; & erit  $\frac{2PF}{G} - 1,3862943611 F$  altitudo descripta quamproxime. Patent hæc per libri secundi propositionem nonam & ejus corollaria, ex hypothesi quod globus nullam aliam patiatur resistenciam nisi quæ oritur ab inertia materiæ. Si vero aliam insuper resistenciam patitur, descensus erit tardior, & ex retardatione innotescet quantitas hujus resistenciae.

Ut

## PRINCIPIA MATHEMATICA.

Ut corporis in fluido cadentis velocitas & descensus facilius innotescant, composui tabulam sequentem, cujus columna prima denotat tempora descensus, secunda exhibet velocitates cadendo acquisite existente velocitate maxima 100000000, tertia exhibet spatia temporibus illis cadendo descripta, existente 2 F spatio quod corpus tempore G cum velocitate maxima describit, & quarta exhibet spatia iisdem temporibus cum velocitate maxima descripta.

Numeri in quarta columna sunt  $\frac{2P}{G}$ , & subducendo numerum  $1,3862944 - 4,6051702 L$ , inveniuntur numeri in tertia columna, & multiplicandi sunt hi numeri per spatium F ut habeantur spatia cadendo descripta. Quinta his insuper adjecta est columna, quæ continet spatia descripta iisdem temporibus a corpore, vi ponderis sui comparativi B, in vacuo cadente.

Tempora P	Velocitates cadentis in fluido.	Spatia cadendo descripta in fluido.	Spatia motu maximo de- scripta.	Spatia cadendo descripta in vacuo.
0,001 G	99999 $\frac{2}{3}$	0,000001 F	0,002 F	0,000001 F
0,01 G	999967	0,0001 F	0,02 F	0,0001 F
0,1 G	9966799	0,0099834 F	0,2 F	0,01 F
0,2 G	19737532	0,0397361 F	0,4 F	0,04 F
0,3 G	29131261	0,0886815 F	0,6 F	0,09 F
0,4 G	37994896	0,1559070 F	0,8 F	0,16 F
0,5 G	46211716	0,2402290 F	1,0 F	0,25 F
0,6 G	53704957	0,3402706 F	1,2 F	0,36 F
0,7 G	60436778	0,4545405 F	1,4 F	0,49 F
0,8 G	66403677	0,5815071 F	1,6 F	0,64 F
0,9 G	71629787	0,7196609 F	1,8 F	0,81 F
1 G	76159416	0,8675617 F	2 F	1 F
2 G	96402758	2,6500055 F	4 F	4 F
3 G	99505475	4,6186570 F	6 F	9 F
4 G	99932930	6,6143765 F	8 F	16 F
5 G	99990920	8,6137964 F	10 F	25 F
6 G	99998771	10,6137179 F	12 F	36 F
7 G	99999834	12,6137073 F	14 F	49 F
8 G	99999980	14,6137059 F	16 F	64 F
9 G	99999997	16,6137057 F	18 F	81 F
10 G	99999999 $\frac{1}{2}$	18,6137056 F	20 F	100 F

Y y

Scholium.



*Scholium.*

Ut resistentias fluidorum investigarem per experimenta, paravi vas ligneum quadratum, longitudine & latitudine interna digitorum novem pedis *Londinensis*, profunditate pedum novem cum semisse, idemque implevi aqua pluviali; & globis ex cera & plumbo incluso formatis, notavi tempora descensus globorum, existente descensus altitudine 112 digitorum pedis. Pes solidus cubicus *Londinensis* continet 76 libras *Romanas* aquæ pluvialis, & pedis hujus digitus solidus continet  $\frac{1}{2}$  uncias libræ hujus seu grana 253 $\frac{1}{2}$ ; & globus aqueus diametro digiti unius descriptus continet grana 132,645 in medio aeris, vel grana 132,8 in vacuo; & globus quilibet alius est ut excessus ponderis ejus in vacuo supra pondus ejus in aqua.

*Exper. 1.* Globus, cujus pondus erat 156 $\frac{1}{2}$  granorum in aere & 77 granorum in aqua, altitudinem totam digitorum 112 tempore minutorum quatuor secundorum descripsit. Et experimento repetito, globus iterum cecidit eodem tempore minutorum quatuor secundorum.

Pondus globi in vacuo est 156 $\frac{1}{2}$  gran. & excessus hujus ponderis supra pondus globi in aqua est 79 $\frac{1}{2}$  gran. Unde prodit globi diameter 0,84224 partium digiti. Est autem ut excessus ille ad pondus globi in vacuo, ita densitas aquæ ad densitatem globi, & ita partes octo tertiæ diametri globi (*viz.* 2,24597 dig.) ad spatium 2F, quod proinde erit 4,4256 dig. Globus tempore minuti unius secundi, toto suo pondere granorum 156 $\frac{1}{2}$ , cadendo in vacuo describet digitos 193 $\frac{1}{2}$ ; & pondere granorum 77, eodem tempore, sine resistentia cadendo in aqua describet digitos 95,219; & tempore G, quod sit ad minutum unum secundum in subduplicata ratione spatii F seu 2,2128 dig. ad 95,219 dig. describet 2,2128 dig. & velocitatem maximam H acquirere quacum potest in aqua descendere. Est igitur tempus G 0'',15244. Et hoc tempore G, cum velocitate illa maxima H, globus describet spatium 2F digitorum 4,4256; ideoque tempore minutorum quatuor secundorum describet spatium digitorum 116,1245. Subducatur spatium 1,3862944F seu 3,0676 dig. & manebit spatium 113,0569 digitorum quod globus cadendo in aqua, in vase amplissimo, tempore minutorum quatuor

tuor secundorum describet. Hoc spatium, ob angustiam vasis lignei prædicti, minui debet in ratione quæ componitur ex subduplicata ratione orificii vasis ad excessum orificii hujus supra semicirculum maximum globi & ex simplici ratione orificii ejusdem ad excessum ejus supra circulum maximum globi, id est, in ratione 1 ad 0,9914. Quo facto, habebitur spatium 112,08 digitorum, quod globus cadendo in aqua in hoc vase ligneo tempore minutorum quatuor secundorum per theoriam describere debuit quamproxime. Descripsit vero digitos 112 per experimentum.

*Exper. 2.* Tres globi æquales, quorum pondera seorsim erant 76 $\frac{1}{2}$  granorum in aere & 51 $\frac{1}{2}$  granorum in aqua, successive demittebantur; & unusquisque cecidit in aqua tempore minutorum secundorum quindecim, casu suo describens altitudinem digitorum 112.

Computum ineundo prodeunt pondus globi in vacuo 76 $\frac{1}{2}$  gran. excessus hujus ponderis supra pondus in aqua 71 $\frac{1}{2}$  gran. diameter globi 0,81296 dig. octo tertiæ partes hujus diametri 2,16789 dig. spatium 2F 2,3217 dig. spatium quod globus pondere 51 $\frac{1}{2}$  gran. tempore 1'' sine resistentia cadendo describat 12,808 dig. & tempus G 0'',301056. Globus igitur, velocitate maxima quacum potest in aqua vi ponderis 51 $\frac{1}{2}$  gran. descendere, tempore 0'',301056 describet spatium 2,3217 dig. & tempore 15'' spatium 115,678 dig. Subducatur spatium 1,3862944F seu 1,609 dig. & manebit spatium 114,069 dig. quod proinde globus eodem tempore in vase latissimo cadendo describere debet. Propter angustiam vasis nostri detrahi debet spatium 0,895 dig. circiter. Et sic manebit spatium 113,174 dig. quod globus cadendo in hoc vase, tempore 15'' describere debuit per theoriam quamproxime. Descripsit vero digitos 112 per experimentum. Differentia est insensibilis.

*Exper. 3.* Globi tres æquales, quorum pondera seorsim erant 121 gran. in aere & 1 gran. in aqua, successive demittebantur; & cadebant in aqua temporibus 46'', 47'', & 50'', describentes altitudinem digitorum 112.

Per theoriam hi globi cadere debuerunt tempore 40'' circiter. Quod tardius ceciderunt, utrum minori proportioni resistentiæ, quæ a vi inertie in tardis motibus oritur, ad resistentiam quæ oritur ab aliis causis tribuendum sit; an potius bullulis nonnullis globo adhaerentibus, vel rarefactioni ceræ ad calorem vel tempestatis vel



manus globum demittentis, vel etiam erroribus insensibilibus in ponderandis globis in aqua, incertum esse puto. Ideoque pondus globi in aqua debet esse plurimum granorum, ut experimentum certum & fide dignum reddatur.

*Exper. 4.* Experimenta hæcenus descripta coepi, ut investigarem resistentias fluidorum, antequam theoria in propositionibus proxime præcedentibus exposita mihi innotesceret. Postea, ut theoriam inventam examinarem, paravi vas ligneum latitudine interna digitorum  $8\frac{1}{2}$ , profunditate pedum quindecim cum triente. Deinde ex cera & plumbo incluso globos quatuor formavi, singulos pondere  $139\frac{1}{2}$  granorum in aere &  $7\frac{1}{2}$  granorum in aqua. Et hos demisi ut tempora cadendi in aqua per pendulum, ad semi-minuta secunda oscillans, mensurarem. Globi, ubi ponderabantur & postea cadebant, frigidi erant & aliquamdiu frigidi manserant; quia calor ceram rarefacit, & per rarefactionem diminuit pondus globi in aqua, & cera rarefacta non statim ad densitatem pristinam per frigus reducitur. Antequam caderent, immergebantur penitus in aquam; ne pondere partis alicujus ex aqua extantis descensus eorum sub initio acceleraretur. Et ubi penitus immersi quiescebant, demittebantur quam cautissime, ne impulsus aliquem a manu demittente acciperent. Ceciderunt autem successive temporibus oscillationum  $47\frac{1}{2}$ ,  $48\frac{1}{2}$ , 50 & 51, describentes altitudinem pedum quindecim & digitorum duorum. Sed tempestas jam paulo frigidior erat quam cum globi ponderabantur, ideoque iteravi experimentum alio die, & globi ceciderunt temporibus oscillationum 49,  $49\frac{1}{2}$ , 50 & 53, ac tertio temporibus oscillationum  $49\frac{1}{2}$ , 50, 51 & 53. Et experimento sæpius capto, globi ceciderunt maxima ex parte temporibus oscillationum  $49\frac{1}{2}$  & 50. Ubi tardius cecidere, suspicor eosdem retardatos fuisse impingendo in latera vasis.

Jam computum per theoriam ineundo, prodeunt pondus globi in vacuo  $139\frac{1}{2}$  granorum. Excessus hujus ponderis supra pondus globi in aqua  $132\frac{1}{2}$  gran. Diameter globi 0,99868 dig. Octo tertiæ partes diametri 2,66315 dig. Spatium 2 F 2,8066 dig. Spatium quod globus pondere  $7\frac{1}{2}$  granorum, tempore minuti unius secundi, sine resistentia cadendo describit 9,88164 dig. Et tempus G 0'',376843. Globus igitur, velocitate maxima, quacum potest in aqua vi ponderis  $7\frac{1}{2}$  granorum descendere, tempore 0'',376843 describit.

scribit spatium 2,8066 digitorum, & tempore 1'' spatium 7,44766 digitorum, & tempore 25'' seu oscillationum 50 spatium 186,1915 dig. Subducatur spatium 1,386294 F, seu 1,9454 dig. & manebit spatium 184,2461 dig. quod globus eodem tempore in vase latissimo describet. Ob angustiam vasis nostri, minuatur hoc spatium in ratione quæ componitur ex subduplicata ratione orificii vasis ad excessum hujus orificii supra semicirculum maximum globi, & simplici ratione ejusdem orificii ad excessum ejus supra circulum maximum globi; & habebitur spatium 181,86 digitorum, quod globus in hoc vase tempore oscillationum 50 describere debuit per theoriam quamproxime. Descripsit vero spatium 182 digitorum tempore oscillationum  $49\frac{1}{2}$  vel 50 per experimentum.

*Exper. 5.* Globi quatuor pondere  $154\frac{1}{2}$  gran. in aere &  $21\frac{1}{2}$  gran. in aqua sæpe demissi, cadebant tempore oscillationum  $28\frac{1}{2}$ , 29,  $29\frac{1}{2}$  & 30, & nonnunquam 31, 32 & 33, describentes altitudinem pedum quindecim & digitorum duorum.

Per theoriam cadere debuerunt tempore oscillationum 29 quamproxime.

*Exper. 6.* Globi quinque pondere  $212\frac{1}{2}$  gran. in aere &  $79\frac{1}{2}$  in aqua sæpe demissi, cadebant tempore oscillationum 15,  $15\frac{1}{2}$ , 16, 17 & 18, describentes altitudinem pedum quindecim & digitorum duorum.

Per theoriam cadere debuerunt tempore oscillationum 15 quamproxime.

*Exper. 7.* Globi quatuor pondere  $293\frac{1}{2}$  gran. in aere &  $35\frac{1}{2}$  gran. in aqua sæpe demissi, cadebant tempore oscillationum  $29\frac{1}{2}$ , 30,  $30\frac{1}{2}$ , 31, 32 & 33, describentes altitudinem pedum quindecim & digiti unius cum semisse.

Per theoriam cadere debuerunt tempore oscillationum 28 quamproxime.

Causam investigando cur globorum, ejusdem ponderis & magnitudinis, aliqui citius alii tardius caderent, in hanc incidi; quod globi, ubi primum demittebantur & cadere incipiebant, oscillarent circum centra, latere illo quod forte gravius esset primum descendente, & motum oscillatorium generante. Nam per oscillationes suas globus majorem motum communicat aquæ, quam si sine oscillationibus descenderet; & communicando, amittit partem motus proprii.



proprii quo descendere deberet: & pro majore vel minore oscillatione, magis vel minus retardatur. Quinetiam globus recedit semper a latere suo quod per oscillationem descendit, & recedendo appropinquat lateribus vasis & in latera nonnunquam impingitur. Et hæc oscillatio in globis gravioribus fortior est, & in majoribus aquam magis agitat. Quapropter, ut oscillatio globorum minor redderetur, globos novos ex cera & plumbo construxi, infigendo plumbum in latus aliquod globi prope superficiem ejus; & globum ita demissi, ut latus gravius, quoad fieri potuit, esset inferius ab initio descensus. Sic oscillationes factæ sunt multo minores quam prius, & globi temporibus minus inæqualibus ceciderunt, ut in experimentis sequentibus.

*Exper. 8.* Globi quatuor, pondere granorum 139 in aere & 6½ in aqua, sæpe demissi, ceciderunt temporibus oscillationum non plurimum quam 52, non pauciorum quam 50, & maxima ex parte tempore oscillationum 51 circiter, describentes altitudinem digitorum 182.

Per theoriam cadere debuerunt tempore oscillationum 52 circiter.

*Exper. 9.* Globi quatuor, pondere granorum 273½ in aere & 140½ in aqua, sæpius demissi, ceciderunt temporibus oscillationum non pauciorum quam 12, non plurium quam 13, describentes altitudinem digitorum 182.

Per theoriam vero hi globi cadere debuerunt tempore oscillationum 11½ quamproxime.

*Exper. 10.* Globi quatuor, pondere granorum 384 in aere & 119½ in aqua, sæpe demissi, cadebant temporibus oscillationum 17½, 18, 18½ & 19, describentes altitudinem digitorum 181½. Et ubi ceciderunt tempore oscillationum 19, nonnunquam audiui impulsus eorum in latera vasis antequam ad fundum pervenerunt.

Per theoriam vero cadere debuerunt tempore oscillationum 15½ quamproxime.

*Exper. 11.* Globi tres æquales, pondere granorum 48 in aere & 3½ in aqua, sæpe demissi, ceciderunt temporibus oscillationum 4½, 44, 44½, 45 & 46, & maxima ex parte 44 & 45, describentes altitudinem digitorum 182½ quamproxime.

Per

Per theoriam cadere debuerunt tempore oscillationum 46½ circiter. LIBER  
SECUNDUS.

*Exper. 12.* Globi tres æquales, pondere granorum 141 in aere & 4½ in aqua, aliquoties demissi, ceciderunt temporibus oscillationum 61, 62, 63, 64 & 65, describentes altitudinem digitorum 182.

Et per theoriam cadere debuerunt tempore oscillationum 64½ quamproxime.

Per hæc experimenta manifestum est quod, ubi globi tarde ceciderunt, ut in experimentis secundis, quartis, quintis, octavis, undecimis ac duodecimis, tempora cadendi recte exhibentur per theoriam: at ubi globi velocius ceciderunt, ut in experimentis sextis, nonnis ac decimis, resistentia paulo major extitit quam in duplicata ratione velocitatis. Nam globi inter cadendum oscillant aliquantulum; & hæc oscillatio in globis levioribus & tardius cadentibus, ob motus languorem cito cessat; in gravioribus autem & majoribus, ob motus fortitudinem diutius durat, & non nisi post plures oscillationes ab aqua ambiente cohiberi potest. Quinetiam globi, quo velociores sunt, eo minus premuntur a fluido ad posticas suas partes; & si velocitas perpetuo augeatur, spatium vacuum tandem a tergo relinquent, nisi compressio fluidi simul augeatur. Debet autem compressio fluidi (per prop. xxxii. & xxxiii.) augeri in duplicata ratione velocitatis, ut resistentia sit in eadem duplicata ratione. Quoniam hoc non fit, globi velociores paulo minus premuntur a tergo, & defectu pressiois hujus, resistentia eorum fit paulo major quam in duplicata ratione velocitatis.

Congruit igitur theoria cum phænomenis corporum cadentium in aqua, reliquum est ut examinemus phænomena cadentium in aere.

*Exper. 13.* A culmine ecclesiæ Sancti Pauli, in urbe Londini, mense Junio 1710. globi duo vitrei simul demittebantur, unus argenti vivi plenus, alter aeris; & cadendo describebant altitudinem pedum Londinensium 220. Tabula lignea ad unum ejus terminum polis ferreis suspendebatur, ad alterum pessulo ligneo incumbebat; & globi duo huic tabulæ impositi simul demittebantur, subtrahendo pessulum ope filii ferrei ad terram usque demissi ut tabula polis ferreis solummodo innixa super iisdem devolveretur, & eodem temporis momento pendulum ad minuta secunda oscillans, per filum illud



352 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
DE MOTU  
CORPORUM  
illud ferreum tractum demitteretur & oscillare inciperet. Diametri  
& pondera globorum ac tempora cadendi exhibentur in tabula se-  
quente.

Globorum mercurio plenorum			Globorum aere plenorum.		
Pondera	Diametri	Tempora cadendi.	Pondera	Diametri	Tempora cadendi.
908 gran.	0,8 digit.	4"	510 gran.	5,1 digit.	8" <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
983	0,8	4—	642	5,2	8
866	0,8	4	599	5,1	8
747	0,75	4+	515	5,0	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
808	0,75	4	483	5,0	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
784	0,75	4+	641	5,2	8

Cæterum tempora observata corrigi debent. Nam globi mercuriales (per theoriam *Galilæi*) minutis quatuor secundis describent pedes *Londinenses* 257, & pedes 220 minutis tantum 3" 42". Tabula lignea utique, detracto pessulo, tardius devolvebatur quam par erat, & tarda sua devolutione impediēbat descensum globorum sub initio. Nam globi incumbēbant tabulæ prope medium ejus, & paulo quidem propiores erant axi ejus quam pessulo. Et hinc tempora cadendi prorogata fuerunt minutis tertiis octodecim circiter, & jam corrigi debent detrahendo illa minuta, præsertim in globis majoribus qui tabulæ devolventi paulo diutius incumbēbant propter magnitudinem diametrorum. Quo facto tempora, quibus globi sex majores cecidere, evadent 8" 12", 7" 42", 7" 42", 7" 57", 8" 12", & 7" 42".

Globorum igitur aere plenorum quintus, diametro digitorum quinque pondere granorum 483 constructus, cecidit tempore 8" 12", describendo altitudinem pedum 220. Pondus aquæ huic globo æqualis est 16600 granorum; & pondus aeris eidem æqualis est <sup>16600</sup>/<sub>502</sub> gran. feu 19<sup>1</sup>/<sub>2</sub> gran. ideoque pondus globi in vacuo est 502<sup>1</sup>/<sub>2</sub> gran. & hoc pondus est ad pondus aeris globo æqualis, ut 502<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ad 19<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, & ita sunt 2 F ad octo tertias partes diametri globi, id est, ad 13<sup>1</sup>/<sub>2</sub> digitos. Unde 2 F prodeunt 28 ped. 11 dig. Globus cadendo in vacuo, toto suo pondere 502<sup>1</sup>/<sub>2</sub> granorum, tempore minuti unius secundi describit digitos 193<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ut supra, & pondere 483 gran. describit digitos 185,905, & eodem pondere 483 gran. etiam in

PRINCIPIA MATHEMATICA. 353

in vacuo describit spatium F seu 14 ped. 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> dig. tempore 57" 58", LIBER  
& velocitatem maximam acquirit quacum possit in aere descende- SECUNDUS.  
re. Hac velocitate globus, tempore 8" 12", describet spatium pe-  
dum 245 & digitorum 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub>. Aufer 1,3863 F seu 20 ped. 0<sup>1</sup>/<sub>2</sub> dig. &  
manebunt 225 ped. 5 dig. Hoc spatium igitur globus, tempore 8"  
12", cadendo describere debuit per theoriam. Descripsit vero  
spatium 220 pedum per experimentum. Differentia insensibilis est.  
Similibus computis ad reliquos etiam globos aere plenos applica-  
tis, confeci tabulam sequentem.

Globorum pondera.	Diametri.	Tempora ca- dendi ab al- titudine pe- dum 220.	Spatia describen- da per theoriam.	Excessus.
510 gran.	5,1 dig.	8" 12"	226 ped. 11 dig.	6 ped. 11 dig.
642	5,2	7 42	230 9	10 9
599	5,1	7 42	227 10	7 10
515	5	7 57	224 5	4 5
483	5	8 12	225 5	5 5
641	5,2	7 42	230 7	10 7

Exper. 14. Anno 1719. mense Julio, D. Desaguliers hujusmodi  
experimenta iterum cepit, formando vesicas porcorum in orbem  
sphericum ope sphaeræ lignæ concavæ, quam madefactæ im-  
plere cogebantur inflando aerem; & hæc arefactas & exemptas de-  
mittendo ab altiore loco in templi ejusdem turri rotunda fornicata,  
nempe ab altitudine pedum 272; & eodem temporis momento  
demittendo etiam globum plumbeum cujus pondus erat duarum li-  
brarum Romanarum circiter. Et interea aliqui stantes in suprema  
parte templi, ubi globi demittebantur, notabant tempora tota caden-  
di, & alii stantes in terra notabant differentiam temporum inter ca-  
sum globi plumbei & casum vesicæ. Tempora autem mensuraban-  
tur pendulis ad dimidia minuta secunda oscillantibus. Et eorum qui  
in terra stabant unus habebat horologium cum elatere ad singula  
minuta secunda quater vibrante; alius habebat machinam aliam  
astabre constructam cum pendulo etiam ad singula minuta secunda  
quater vibrante. Et similem machinam habebat unus eorum qui  
stabant in summitate templi. Et hæc instrumenta ita formabantur,  
ut

Z z

ut



DE MOTU  
CORPORUM

ut motus eorum pro lubitu vel inciperent vel sifterentur. Globus autem plumbeus cadebat tempore minorum secundorum quatuor cum quadrante circiter. Et addendo hoc tempus ad prædictam temporis differentiam, colligebatur tempus totum quo vesica cecidit. Tempora, quibus vesicæ quinque post casum globi plumbei prima vice ceciderunt, erant  $14\frac{3}{4}''$ ,  $12\frac{3}{4}''$ ,  $14\frac{1}{2}''$ ,  $17\frac{3}{4}''$ , &  $16\frac{3}{4}''$ , & secunda vice  $14\frac{1}{2}''$ ,  $14\frac{1}{2}''$ ,  $14''$ ,  $19''$ , &  $16\frac{3}{4}''$ . Addantur  $4\frac{1}{2}''$ , tempus utique quo globus plumbeus cecidit, & tempora tota, quibus vesicæ quinque ceciderunt, erant prima vice  $19''$ ,  $17''$ ,  $18\frac{3}{4}''$ ,  $22''$ , &  $21\frac{1}{2}''$ , & secunda vice,  $18\frac{3}{4}''$ ,  $18\frac{1}{2}''$ ,  $18\frac{1}{2}''$ ,  $23\frac{3}{4}''$ , &  $21''$ . Tempora autem in summitate templi notata, erant prima vice  $19\frac{1}{2}''$ ,  $17\frac{1}{2}''$ ,  $18\frac{1}{2}''$ ,  $22\frac{3}{4}''$ , &  $21\frac{1}{2}''$ ; & secunda vice  $19''$ ,  $18\frac{3}{4}''$ ,  $18\frac{1}{2}''$ ,  $24''$ , &  $21\frac{1}{2}''$ . Cæterum vesicæ non semper recta cadebant, sed nonnunquam volitabant, & hinc inde oscillabantur inter cadendum. Et his motibus tempora cadendi prorogata sunt & aucta nonnunquam dimidio minuti unius secundi, nonnunquam minuto secundo toto. Cadebant autem rectius vesica secunda & quarta prima vice; & prima ac tertia secunda vice. Vesica quinta rugosa erat & per rugas suas nonnihil retardabatur. Diametros vesicarum deducebam ex earum circumferentiis filo tenuissimo bis circumdato mensuratis. Et theoriam contuli cum experimentis in tabula sequente, assumendo densitatem aëris esse ad densitatem aquæ pluvialis ut 1 ad 860, & computando spatia quæ globi per theoriam describere debuerunt cadendo.

Vesicarum pondera	Diametri.	Tempora cadendi ab altitudine pedum 272.	Spatia iisdem temporibus describenda per theoriam.	Differentia inter theor. & exper.
28 gran.	5,28 dig.	19''	271 ped. 11 dig.	— oped. 1 dig.
56	5,19	17	272	+0 0
137½	5,3	18½	272	+0 7
97½	5,26	22	277	+5 4
99½	5	21½	282	+10 0

Globorum igitur tam in aëre quam in aqua motorum resistentia prope omnis per theoriam nostram recte exhibetur, ac densitati fluidorum, paribus globorum velocitatibus ac magnitudinibus, proportionalis est.

In

LIBER  
SECUNDUS.

In scholio, quod sectioni sextæ subjunctum est, ostendimus per experimenta pendulorum quod globorum æqualium & æquielocium in aëre, aqua, & argento vivo motorum resistentiæ sunt ut fluidorum densitates. Idem hic ostendimus magis accurate per experimenta corporum cadentium in aëre & aqua. Nam pendula singulis oscillationibus motum cient in fluido motui penduli redeuntis semper contrarium, & resistentia ab hoc motu oriunda, ut & resistentia fili quo pendulum suspendebatur, totam penduli resistentiam majorem reddiderunt quam resistentia quæ per experimenta corporum cadentium prodiit. Etenim per experimenta pendulorum in scholio illo exposita, globus ejusdem densitatis cum aqua, describendo longitudinem semidiametri suæ in aëre, amittere deberet motus sui partem  $\frac{1}{860}$ . At per theoriam in hac septima sectione expositam & experimentis cadentium confirmatam, globus idem describendo longitudinem eandem, amittere deberet motus sui partem tantum  $\frac{1}{860}$ , posito quod densitas aquæ sit ad densitatem aëris ut 860 ad 1. Resistentiæ igitur per experimenta pendulorum majores prodire (ob causas jam descriptas) quam per experimenta globorum cadentium, idque in ratione 4 ad 3 circiter. Attamen cum pendulorum in aëre, aqua & argento vivo oscillantium resistentiæ a causis similibus similiter augeantur, proportio resistentiarum in his mediis, tam per experimenta pendulorum, quam per experimenta corporum cadentium, satis recte exhibebitur. Et inde concludi potest quod corporum in fluidis quibuscunque fluidissimis motorum resistentiæ, cæteris paribus, sunt ut densitates fluidorum.

His ita stabilitis, dicere jam licet quamnam motus sui partem globus quilibet, in fluido quocunque projectus, dato tempore amittet quamproxime. Sit D diameter globi, & V velocitas ejus sub initio motus, & T tempus, quo globus velocitate V in vacuo describet spatium, quod sit ad spatium  $\frac{1}{2}D$  ut densitas globi ad densitatem fluidi: & globus in fluido illo projectus, tempore quovis alio t, amittet velocitatis suæ partem  $\frac{tV}{T+t}$ , manente parte  $\frac{TV}{T+t}$ , & describet spatium, quod sit ad spatium uniformi velocitate V eodem tempore descriptum in vacuo, ut logarithmus numeri  $\frac{T+t}{T}$  multiplicatus per

Z z z

numerum



numerum 2,302585093 est ad numerum  $\frac{t}{T}$ , per corol. VII. prop.

xxxv. In motibus tardis resistentia potest esse paulo minor, propterea quod figura globi paulo aptior sit ad motum quam figura cylindri eadem diametro descripti. In motibus velocibus resistentia potest esse paulo major, propterea quod elasticitas & compressio fluidi non augeantur in duplicata ratione velocitatis. Sed hujusmodi minutias hic non expendo.

Et quamvis aer, aqua, argentum vivum & similia fluida, per divisionem partium in infinitum, subtiliarentur & fierent media infinite fluida; tamen globis projectis haud minus resisterent. Nam resistentia, de qua agitur in propositionibus precedentibus, oritur ab inertia materiae; & inertia materiae corporibus essentialis est & quantitati materiae semper proportionalis. Per divisionem partium fluidi, resistentia quæ oritur a tenacitate & frictione partium diminui quidem potest: sed quantitas materiae per divisionem partium ejus non diminuitur; & manente quantitate materiae, manet ejus vis inertiae, cui resistentia, de qua hic agitur, semper proportionalis est. Ut hæc resistentia diminuatur, diminui debet quantitas materiae in spatiis per quæ corpora moventur. Et propterea spatia coelestia, per quæ globi planetarum & cometarum in omnes partes liberrime & sine omni motus diminutione sensibili perpetuo moventur, fluido omni corporeo destituuntur, si forte vapores longe tenuissimos & trajectos lucis radios excipias.

Projectilia utique motum cient in fluidis progrediendo, & hic motus oritur ab excessu pressionis fluidi ad projectilis partes anticas supra pressionem ad ejus partes posticas, & non minor esse potest in mediis infinite fluidis quam in aere, aqua & argento vivo pro densitate materiae in singulis. Hic autem pressionis excessus, pro quantitate sua, non tantum motum ciet in fluido, sed etiam agit in projectile ad motum ejus retardandum: & propterea resistentia in omni fluido est ut motus in fluido a projectili excitatus, nec minor esse potest in æthere subtilissimo pro densitate ætheris, quam in aëre, aqua & argento vivo pro densitatibus horum fluidorum.

## SECTIO

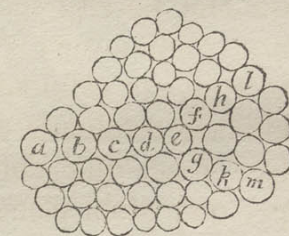
## SECTIO VIII.

*De motu per fluida propagato.*

## PROPOSITIO XLI. THEOREMA XXXII.

*Pressio non propagatur per fluidum secundum lineas rectas, nisi ubi particule fluidi in directum jacent.*

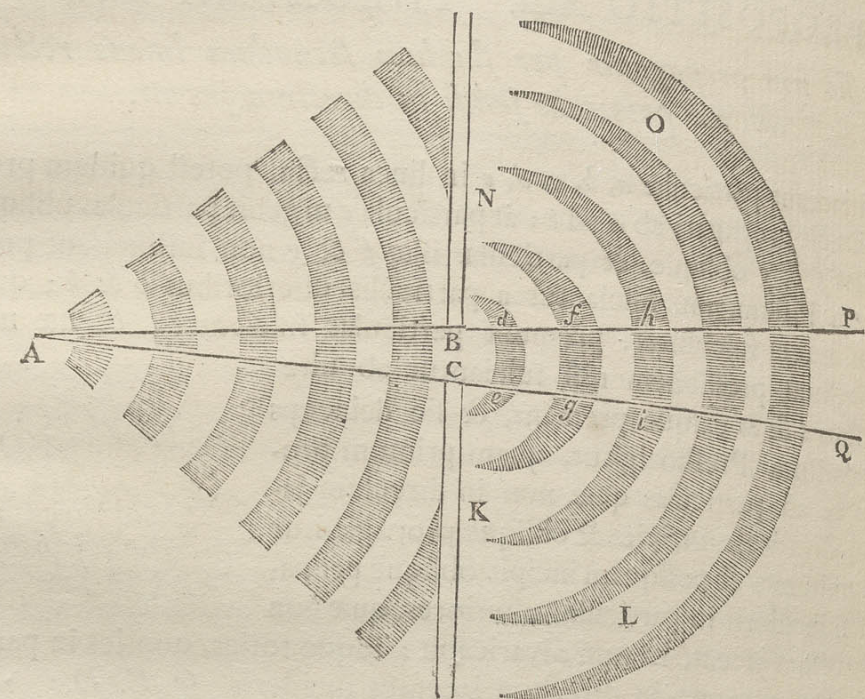
Si jaceant particule *a, b, c, d, e* in linea recta, potest quidem pressio directe propagari ab *a* ad *e*; at particula *e* urget particulas oblique positas *f* & *g* oblique, & particule illæ *f* & *g* non sustinebunt pressionem illatam, nisi fulciantur a particulis ulterioribus *h* & *k*; quatenus autem fulciuntur, premunt particulas fulcientes; & hæc non sustinebunt pressionem nisi fulciantur ab ulterioribus *l* & *m* easque premant, & sic deinceps in infinitum. Pressio igitur, quam primum propagatur ad particulas quæ non in directum jacent, divaricare incipiet & oblique propagabitur in infinitum; & postquam incipit oblique propagari, si inciderit in particulas posteriores, quæ non in directum jacent, iterum divaricabit; idque toties, quoties in particulas non accurate in directum jacentes inciderit. *Q. E. D.*



*Corol.* Si pressionis, a dato puncto per fluidum propagatæ, pars aliqua obstaculo interceptiatur; pars reliqua, quæ non interceptiatur, divaricabit in spatia pone obstaculum. Id quod sic etiam demonstrari potest. A puncto *A* propagetur pressio quaquaversum, idque si fieri potest secundum lineas rectas, & obstaculo *NBCK* perforato in *BC*, interceptiatur ea omnis, præter partem coniformem *APQ*, quæ per foramen circulare *BC* transit. Planis transversis *de, fg, hi* distinguatur conus *APQ* in frusta; & interea dum conus *ABC*, pressionem propagando, urget frustum conicum ulterius *degf* in superficie *de*, & hoc frustum urget frustum proximum *fgih* in superficie *fg*, & frustum illud urget frustum tertium, & sic deinceps in infinitum; manifestum est (per motus legem tertiam) quod frustum



stum primum *defg*, reactione frusti secundi *fgbi*, tantum urgebitur & premetur in superficie *fg*, quantum urget & premit frustum illud secundum. Frustum igitur *degf* inter conum *Ade* & frustum *fbig* comprimitur utrinque, & propterea (per corol. vi. prop. xix.) figuram suam servare nequit, nisi vi eadem comprimatundique. Eodem igitur impetu quo premitur in superficiebus *de*, *fg*, cona-



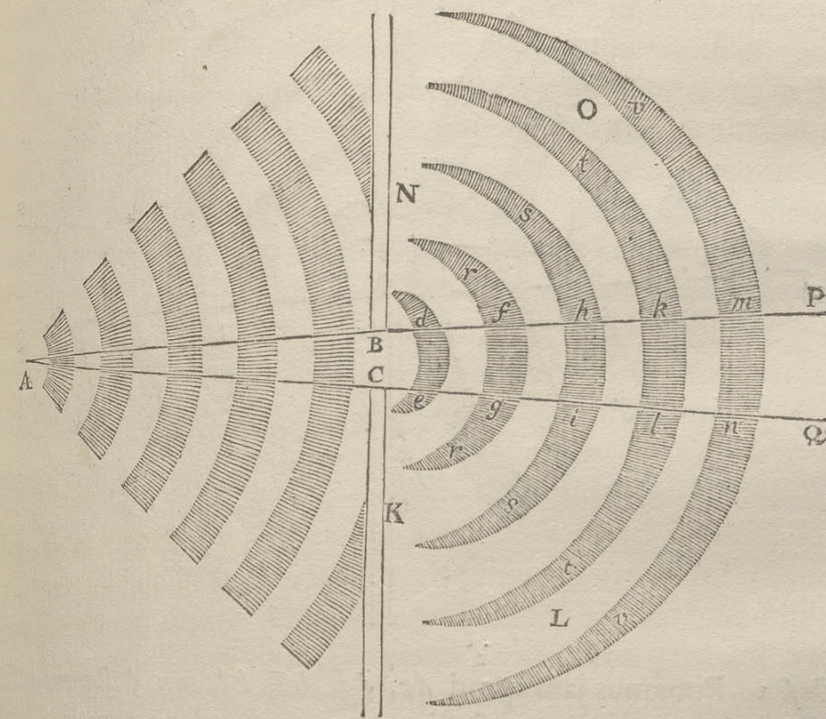
bitur cedere ad latera *df*, *eg*; ibique (cum rigidum non sit, sed omnimodo fluidum) excurrat ac dilatabitur, nisi fluidum ambiens adsit, quo conatus iste cohibeatur. Proinde conatu excurrendi, premet tam fluidum ambiens ad latera *df*, *eg* quam frustum *fgbi* eodem impetu; & propterea pressio non minus propagabitur a lateribus *df*, *eg* in spatia *NO*, *KL* hinc inde, quam propagatur a superficie *fg* versus *PQ*. Q. E. D.

PROPO.

## PROPOSITIO XLII. THEOREMA XXXIII.

*Motus omnis per fluidum propagatus divergit a recto tramite in spatia immota.*

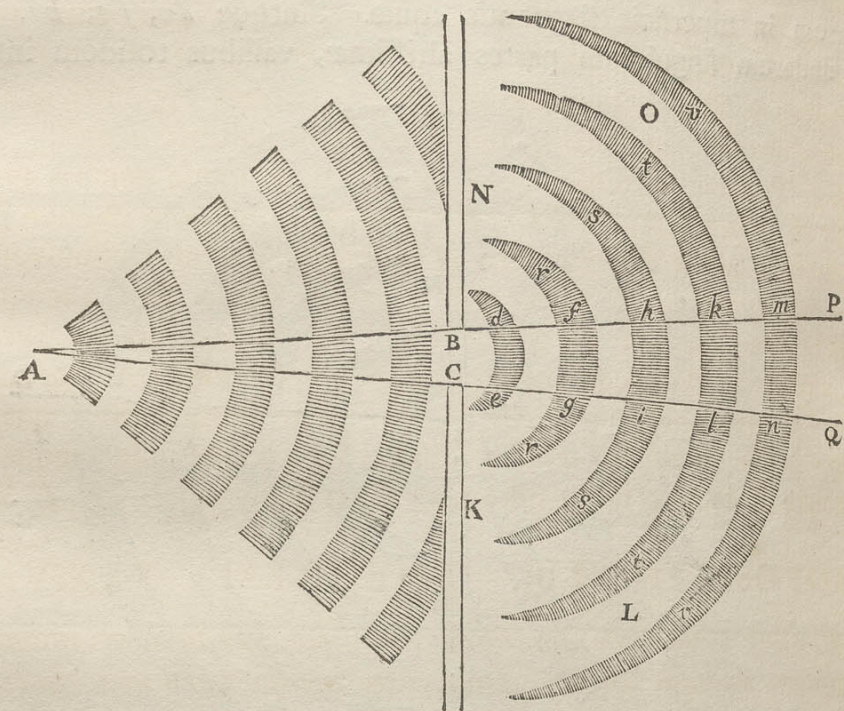
Cas. i. Propagetur motus a puncto *A* per foramen *BC*, pergatque, si fieri potest, in spatio conico *BCQP*, secundum lineas rectas divergentes a puncto *A*. Et ponamus primo quod motus iste sit undarum in superficie stagnantis aquæ. Sintque *de*, *fg*, *hi*, *kl*, &c. undarum singularum partes altissimæ, vallibus totidem inter-



mediis ab invicem distinctæ. Igitur quoniam aqua in undarum jugis altior est quam in fluidi partibus immotis *LK*, *NO*, defluet eadem de jugorum terminis *e*, *g*, *i*, *l*, &c. *d*, *f*, *h*, *k*, &c. hinc inde versus *KL* & *NO*: & quoniam in undarum vallibus depressior est quam in fluidi partibus immotis *KL*, *NO*; defluet eadem de partibus illis immotis in undarum valles. Defluxu priore undarum juga, posteriore valles hinc inde dilatantur & propagantur versus *KL* & *NO*.



*NO.* Et quoniam motus undarum ab *A* versus *PQ* fit per continuum defluxum jugorum in valles proximos, ideoque celerior non est quam pro celeritate descensus; & descensus aquæ hinc inde versus *KL* & *NO* eadem velocitate peragi debet; propagabitur dilatatio undarum hinc inde versus *KL* & *NO* eadem velocitate qua undæ ipsæ ab *A* versus *PQ* recta progrediuntur. Proindeque spatium totum hinc inde versus *KL* & *NO* ab undis dilatatis *rfgr*, *shis*, *tklt*, *vmnv*, &c. occupabitur. *Q. E. D.* Hæc ita se habere quilibet in aqua stagnante experiri potest.



*Cas. 2.* Ponamus jam quod *de*, *fg*, *hi*, *kl*, *mn* designent pulsus a puncto *A* per medium elasticum successive propagatos. Pulsus propagari concipe per successivas condensationes & rarefactiones medii, sic ut pulsus cujusque pars densissima sphericam occupet superficiem circa centrum *A* descriptam, & inter pulsus successivos æqualia intercedant intervalla. Designent autem lineæ *de*, *fg*, *hi*, *kl*, &c. densissimas pulsuum partes, per foramen *BC* propagatas. Et quoniam medium ibi densius est quam in spatiis hinc inde versus *KL* & *NO*, dilatabit sese tam versus spatia illa *KL*, *NO* utrinque sita,

sic, quam versus pulsuum rariora intervalla; eoque pacto rarius semper evadens e regione intervallo ac densius e regione pulsuum, participabit eorundem motum. Et quoniam pulsuum progressus motus oritur a perpetua relaxatione partium densiorum versus antecedentia intervalla rariora; & pulsus eadem fere celeritate sese in medii partes quiescentes *KL*, *NO* hinc inde relaxare debent; pulsus illi eadem fere celeritate sese dilatabunt undique in spatia immota *KL*, *NO*, qua propagantur directe a centro *A*; ideoque spatium totum *KLO* occupabunt. *Q. E. D.* Hoc experimur in sonis, qui vel monte interposito audiuntur, vel in cubiculum per fenestram admissi sese in omnes cubiculi partes dilatant, inque angulis omnibus audiuntur, non tam reflexi a parietibus oppositis, quam a fenestra directe propagati, quantum ex sensu judicare licet.

*Cas. 3.* Ponamus denique quod motus cujusque generis propagetur ab *A* per foramen *BC*: & quoniam propagatio ista non fit, nisi quatenus partes medii centro *A* propiores urgent commoventque partes ulteriores; & partes quæ urgentur fluidæ sunt, ideoque recedunt quaquaversum in regiones ubi minus premuntur: recedent eadem versus medii partes omnes quiescentes, tam laterales *KL* & *NO*, quam anteriores *PQ*, eoque pacto motus omnis, quam primum per foramen *BC* transiit, dilatari incipiet & inde tanquam a principio & centro, in partes omnes directe propagari. *Q. E. D.*

PROPOSITIO XLIII. THEOREMA XXXIV.

*Corpus omne tremulum in medio elastico propagabit motum pulsuum undique in directum; in medio vero non elastico motum circularem excitabit.*

*Cas. 1.* Nam partes corporis tremuli vicibus alternis eundo & redeundo, ita suo urgebunt & propellent partes medii sibi proximas, & urgendo comprimant easdem & condensabunt; dein reditu suo sument partes compressas recedere & sese expandere. Igitur partes medii corpori tremulo proximæ ibunt & redibunt per vices, ad instar partium corporis illius tremuli: & qua ratione partes corporis hujus agitabant hæc medii partes, hæc similibus tremoribus agitæe agitabunt partes sibi proximas, eæque similiter agitæe agitabunt ulteriores, & sic deinceps in infinitum. Et quemadmodum

A a a

medii



medii partes primæ eundo condensantur & redeundo relaxantur, sic partes reliquæ quoties eunt condensantur, & quoties redeunt sese expandent. Et propterea non omnes ibunt & simul redibunt (sic enim determinatas ab invicem distantias servando, non rarefient & condensarentur per vices) sed accedendo ad invicem ubi condensantur, & recedendo ubi rarefiunt, aliquæ earum ibunt dum aliæ redeunt; idque vicibus alternis in infinitum. Partes autem euntes & redeundo condensatæ, ob motum suum progressivum, quo ferunt obstacula, sunt pulsus; & propterea pulsus successivi a corpore omnitemulo in directum propagabuntur; idque æqualibus circiter ab invicem distantis, ob æqualia temporis intervalla, quibus corpus tremoribus suis singulis singulos pulsus excitat. Et quanquam corporis tremuli partes eant & redeant secundum plagam aliquam certam & determinatam, tamen pulsus inde per medium propagati sese dilatant ad latera, per propositionem præcedentem; & a corpore illo tremulo tanquam centro communi, secundum superficies propemodum sphericas & concentricas, undique propagabuntur. Cujus rei exemplum aliquod habemus in undis, quæ si digito tremulo excitentur, non solum pergunt hinc inde secundum plagam motus digiti, sed, in modum circulorum concentricorum, digitum statim cingent & undique propagabuntur. Nam gravitas undarum supplet locum vis elasticæ.

*Cas. 2.* Quod si medium non sit elasticum: quoniam ejus partes a corporis tremuli partibus vibratis pressæ condensari nequeunt, propagabitur motus in instanti ad partes ubi medium facillime cedit, hoc est, ad partes quas corpus tremulum alioqui vacuas a tergo relinqueret. Idem est casus cum casu corporis in medio quocunque projecti. Medium cedendo projectilebus, non recedit in infinitum; sed in circulum eundo, pergit ad spatia quæ corpus relinquit a tergo. Igitur quoties corpus tremulum pergit in partem quamcunque, medium cedendo perget per circulum ad partes quas corpus relinquit; & quoties corpus regreditur ad locum priorem, medium inde repellitur & ad locum suum priorem redibit. Et quamvis corpus tremulum non sit firmum, sed modis omnibus flexile, si tamen magnitudine datum maneat, quoniam tremoribus suis nequit medium ubivis urgere, quin alibi eidem simul cedat; efficiet ut medi-

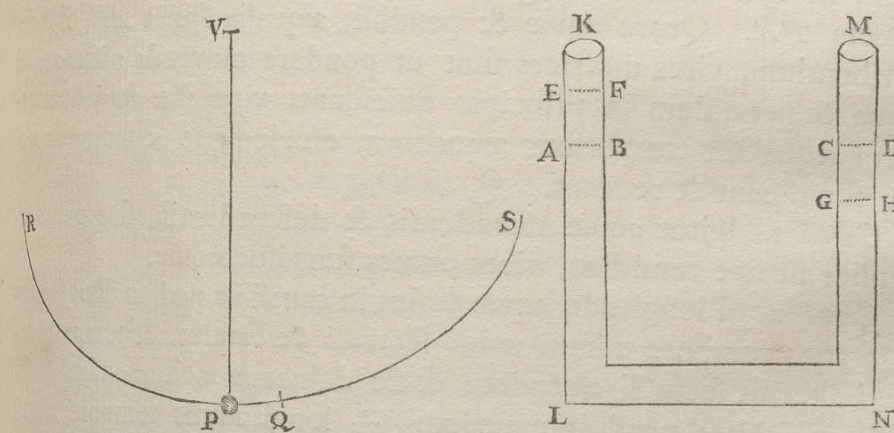
um,

um, recedendo a partibus ubi premitur, pergat semper in orbem ad partes quæ eidem cedunt. *Q. E. D.*  
*Corol.* Hallucinantur igitur qui credunt agitationem partium flammæ ad pressionem, per medium ambiens, secundum lineas rectas propagandum conducere. Debeat ejusmodi pressio non ab agitatione sola partium flammæ, sed a totius dilatatione derivari.

## PROPOSITIO XLIV. THEOREMA XXXV.

*Si aqua in canalibus cruribus erectis KL, MN vicibus alternis ascendat & descendat; construatur autem pendulum cujus longitudo inter punctum suspensionis & centrum oscillationis æquetur semissi longitudinis aquæ in canali: dico quod aqua ascendet & descendet iisdem temporibus quibus pendulum oscillatur.*

Longitudinem aquæ mensuro secundum axes canalis & crurum, eandem summæ horum axium æquando; & resistentiam aquæ, quæ oritur ab attritu canalis, hic non confidero. Designent igitur *AB*, *CD* mediocrem altitudinem aquæ in crure utroque; & ubi aqua



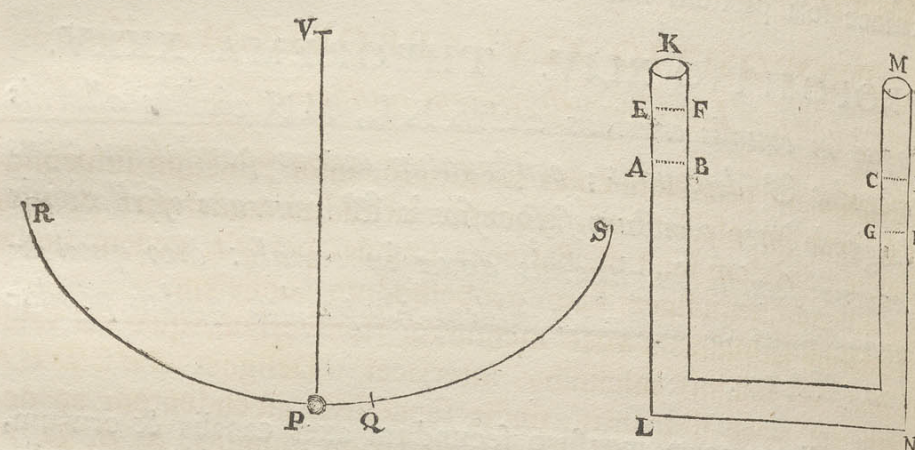
in crure *KL* ascendit ad altitudinem *EF*, descenderit aqua in crure *MN* ad altitudinem *GH*. Sit autem *P* corpus pendulum, *VP* filum, *V* punctum suspensionis, *RPQS* cyclois quam pendulum describat, *P* ejus punctum infimum, *PQ* arcus altitudini *AE* æqualis.

A a a 2

lis,



lis. Vis, qua motus aquæ alternis vicibus acceleratur & retardatur, est excessus ponderis aquæ in alterutro crure supra pondus in altero, ideoque, ubi aqua in crure  $KL$  ascendit ad  $EF$ , & in crure altero descendit ad  $GH$ , vis illa est pondus duplicatum aquæ  $EABF$ , & propterea est ad pondus aquæ totius ut  $AE$  seu  $PQ$  ad  $VP$  seu



$PR$ . Vis etiam, qua pondus  $P$  in loco quovis  $Q$  acceleratur & retardatur in cycloide (per corol. prop. LI.) est ad ejus pondus totum, ut ejus distantia  $PQ$  a loco infimo  $P$ , ad cycloidis longitudinem  $PR$ . Quare aquæ & penduli, æqualia spatia  $AE$ ,  $PQ$  describentium, vires motrices sunt ut pondera movenda; ideoque, si aqua & pendulum in principio quiescunt, vires illæ movebunt eadem æqualiter temporibus æqualibus, efficientque ut motu reciproco simul eant & redeant.  $Q. E. D.$

*Corol. 1.* Igitur aquæ ascendentis & descendens, sive motus intensior sit sive remissior, vices omnes sunt isochronæ.

*Corol. 2.* Si longitudo aquæ totius in canali sit pedum Parisiensium  $6\frac{1}{2}$ : aqua tempore minuti unius secundi descendet, & tempore minuti alterius secundi ascendet; & sic deinceps vicibus alternis in infinitum. Nam pendulum pedum  $3\frac{1}{4}$  longitudinis tempore minuti unius secundi oscillatur.

*Corol. 3.* Aucta autem vel diminuta longitudo aquæ, augetur vel diminuitur tempus reciprocationis in longitudinis ratione subduplicata.

PROPO-

PROPOSITIO XLV. THEOREMA XXXVI.

*Undarum velocitas est in subduplicata ratione latitudinum.*

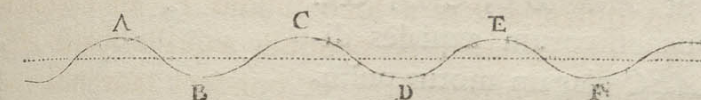
Consequitur ex constructione propositionis sequentis.

PROPOSITIO XLVI. PROBLEMA X.

*Invenire velocitatem undarum.*

Constituatur pendulum cujus longitudo, inter punctum suspensionis & centrum oscillationis, æquetur latitudini undarum: & quo tempore pendulum illud oscillationes singulas peragit, eodem undæ progrediendo latitudinem suam propemodum conficiant.

Undarum latitudinem voco mensuram transversam, quæ vel vallibus imis, vel summis culminibus interjacet. Designet  $ABCDE$  superficiem aquæ stagnantis, undis successivis ascendentem ac descendente; sintque  $A, C, E$ , &c. undarum culmina, &  $B, D, F$ , &c. valles intermediæ. Et quoniam motus undarum fit per aquæ successivum ascensum & descensum, sic ut ejus partes  $A, C, E$ , &c.



quæ nunc altissimæ sunt, mox fiant infimæ; & vis motrix, qua partes altissimæ descendunt & infimæ ascendunt, est pondus aquæ elevatae; alternus ille ascensus & descensus analogus erit motui reciproco aquæ in canali, easdemque temporis leges observabit: & propterea (per prop. XLIV.) si distantia inter undarum loca altissima  $A, C, E$  & infima  $B, D, F$  æquantur duplæ penduli longitudini; partes altissimæ  $A, C, E$ , tempore oscillationis unius evadent infimæ, & tempore oscillationis alterius denuo ascendent. Igitur inter transitum undarum singularum tempus erit oscillationum duarum; hoc est, unda describet latitudinem suam, quo tempore pendulum illud bis oscillatur; sed eodem tempore pendulum, cujus longitudo quadrupla est, ideoque æquat undarum latitudinem, oscillabitur semel.  $Q. E. I.$

*Corol.*







physicorum  $E$  &  $G$  in itu, sunt ut  $\frac{1}{V-HL}$  &  $\frac{1}{V-KN}$  ad  $\frac{1}{V}$ ; & virium differentia ad medii vim elasticam mediocrem, ut

$\frac{HL-KN}{VV-V \times HL-V \times KN+HL \times KN}$  ad  $\frac{1}{V}$ . Hoc est, ut  $\frac{HL-KN}{VV}$  ad  $\frac{1}{V}$ , sive ut  $HL-KN$  ad  $V$ , si modo (ob angustos

limites vibrationum) supponamus  $HL$  &  $KN$  indefinite minores esse quantitate  $V$ . Quare cum quantitas  $V$  detur, differentia virium est ut  $HL-KN$ , hoc est (ob proportionales  $HL-KN$  ad  $HK$ , &  $OM$  ad  $OI$  vel  $OP$ , datasque  $HK$  &  $OP$ ) ut  $OM$ ; id est, si  $Ff$  bisecetur in  $\Omega$ , ut  $\Omega\phi$ . Et eodem argumento differentia virium elasticarum punctorum physicorum  $\epsilon$  &  $\gamma$ , in reditu lineolæ physicae  $\epsilon\gamma$  est ut  $\Omega\phi$ . Sed differentia illa (id est, excessus vis elasticæ puncti  $\epsilon$  supra vim elasticam puncti  $\gamma$ ) est vis qua interjecta medii lineola physica  $\epsilon\gamma$  acceleratur in itu & retardatur in reditu; & propterea vis acceleratrix lineolæ physicae  $\epsilon\gamma$ , est ut ipsius distantia a medio vibrationis loco  $\Omega$ . Proinde tempus (per prop. xxxviii. lib. i.) recte exponitur per arcum  $PI$ ; & medii pars linearis  $\epsilon\gamma$  lege præscripta movetur, id est, lege oscillantis penduli: estque par ratio partium omnium linearium ex quibus medium totum componitur. *Q. E. D.*

*Corol.* Hinc patet quod numerus pulsuum propagatorum idem sit cum numero vibrationum corporis tremuli, neque multiplicatur in eorum progressu. Nam lineola physica  $\epsilon\gamma$ , quamprimum ad locum suum primum redierit, quiescet; neque deinceps movebitur, nisi vel ab impetu corporis tremuli, vel ab impetu pulsuum qui a corpore tremulo propagantur, motu novo cieatur. Quiescet igitur quamprimum pulsus a corpore tremulo propagari desinunt.

## PROPOSITIO XLVIII. THEOREMA XXXVIII.

*Pulsuum in fluido elastico propagatorum velocitates sunt in ratione composita ex subduplicata ratione vis elasticæ directæ & subduplicata ratione densitatis inverse; si modo fluidi vis elastica ejusdem condensationi proportionalis esse supponatur.*

*Cas. i.* Si media sint homogenea, & pulsuum distantia in his mediis æquantur inter se, sed motus in uno medio intensior sit: contractiones

tractiones & dilatationes partium analogarum erunt ut iidem motus. Accurata quidem non est hæc proportio. Veruntamen nisi contractiones & dilatationes sint valde intensæ, non errabit sensibilibiter, ideoque pro physice accurata haberi potest. Sunt autem vires elasticæ motrices ut contractiones & dilatationes; & velocitates partium æqualium simul genitæ sunt ut vires. Ideoque æquales & correspondentes pulsuum correspondentium partes itus & reditus suos per spatia contractionibus & dilatationibus proportionalia, cum velocitatibus quæ sunt ut spatia, simul peragent: & propterea pulsus, qui tempore itus & reditus unius latitudinem suam progrediendo conficiunt, & in loca pulsuum proxime præcedentium semper succedunt, ob æqualitatem distantiarum, æquali cum velocitate in medio utroque progredientur.

*Cas. 2.* Sin pulsuum distantia seu longitudines sint majores in uno medio quam in altero; ponamus quod partes correspondentes spatia latitudinibus pulsuum proportionalia singulis vicibus eundo & redeundo describant: & æquales erunt earum contractiones & dilatationes. Ideoque si media sint homogenea, æquales erunt etiam vires illæ elasticæ motrices quibus reciproco motu agitantur. Materia autem his viribus movenda est ut pulsuum latitudo; & in eadem ratione est spatium per quod singulis vicibus eundo & redeundo moveri debent. Estque tempus itus & reditus unius in ratione composita ex ratione subduplicata materiæ & ratione subduplicata spatii, atque ideo ut spatium. Pulsus autem temporibus itus & reditus unius eundo latitudines suas conficiunt, hoc est, spatia temporibus proportionalia percurrunt; & propterea sunt æquivalentes.

*Cas. 3.* In mediis igitur densitate & vi elastica paribus, pulsus omnes sunt æquivalentes. Quod si medii vel densitas vel vis elastica intendatur, quoniam vis motrix in ratione vis elasticæ, & materia movenda in ratione densitatis augetur; tempus, quo motus iidem peragantur ac prius, augebitur in subduplicata ratione densitatis, ac diminuetur in subduplicata ratione vis elasticæ. Et propterea velocitas pulsuum erit in ratione composita ex ratione subduplicata densitatis medii inverse & ratione subduplicata vis elasticæ directæ. *Q. E. D.*

Hæc propositio ulterius patebit ex constructione sequentis.

B b b

PROPO.

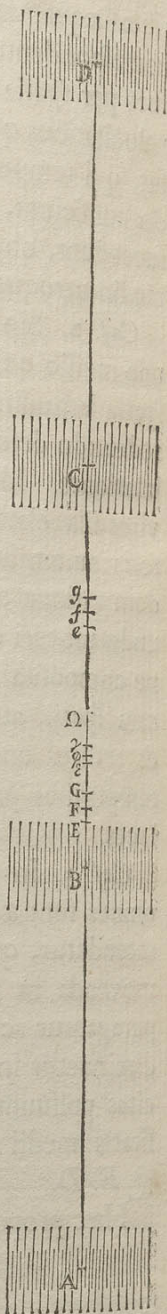
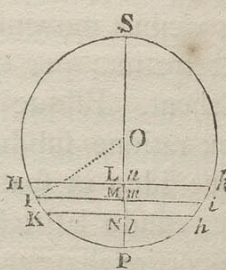


PROPOSITIO XLIX. PROBLEMA XL.

*Datis medii densitate & vi elastica, invenire velocitatem pul-*  
*sum.*

Pingamus medium ab incumbente pondere pro more aëris nostri comprimi; sitque A altitudo medii homogenei, cujus pondus adæquet pondus incumbens, & cujus densitas eadem sit cum densitate medii compressi, in quo pulsus propagantur. Constitui autem intelligatur pendulum, cujus longitudo inter punctum suspensionis & centrum oscillationis sit A: & quo tempore pendulum illud oscillationem integram exiit & reditu compositam peragit, eodem pulsus eundo conficiet spatium circumferentiæ circuli radio A descripti æquale.

Nam flantibus quæ in propositione XLVII. constructa sunt, si linea quævis physica  $EF$ , singulis vibrationibus describendo spatium  $PS$ , urgeatur in extremis itus & reditus cujusque locis  $P$  &  $S$ , a vi elastica quæ ipsius ponderi æquetur; peraget hæc vibrationes singulas quo tempore eadem in cycloide, cujus perimeter tota longitudini  $PS$  æqualis est, oscillari posset: id adeo quia vires æquales æqualia corpuscula per æqualia spatia simul impellent. Quare cum oscillationum tempora sint in subduplicata ratione longitudinis pendulorum, & longitudo penduli æquetur dimidio arcui cycloidis totius; foret tempus vibrationis unius ad tempus oscillationis penduli, cujus longitudo est  $A$ , in subduplicata ratione longitudinis  $\frac{1}{2} PS$  seu  $PO$  ad longitudinem  $A$ . Sed vis elastica, qua lineola physica  $EG$ , in locis suis extremis  $P, S$  existens, urgetur, erat (in demonstratione propositionis XLVII.) ad ejus vim totam elasticam ut  $HL - KN$  ad  $V$ , hoc est (cum punctum  $K$  jam



K iam incidat in  $P$ ) ut  $HK$  ad  $V$ : & vis illa tota, hoc est pondus incumbens, quo lineola  $EG$  comprimitur, est ad pondus lineolæ ut ponderis quincuplæ altitudo  $A$  ad lineolæ longitudinem  $EG$ ; ideoque ex æquo, vis qua lineola  $EG$  in locis suis  $P$  &  $S$  urgetur, est ad lineolæ illius pondus ut  $HK \times A$  ad  $V \times EG$ , sive ut  $PO \times A$  ad  $VV$ , nam  $HK$  erat ad  $EG$  ut  $PO$  ad  $V$ . Quare cum tempora, quibus æqualia corpora per æqualia spatia impelluntur, sint reciproce in subduplicata ratione virium, erit tempus vibrationis unius, urgente vi illa elastica, ad tempus vibrationis, urgente vi ponderis, in subduplicata ratione  $VV$  ac  $PO \times A$ , atque ideo ad tempus oscillationis penduli cujus longitudo est  $A$  in subduplicata ratione  $VV$  ad  $PO \times A$ , & subduplicata ratione  $PO$  ad  $A$  conjunctim; id est, in ratione integra  $V$  ad  $A$ . Sed tempore vibrationis unius ex itu & reditu compositæ, pulsus progrediendo conficit latitudinem suam  $BC$ . Ergo tempus, quo pulsus percurrit spatium  $BC$ , est ad tempus oscillationis unius ex itu & reditu compositæ, ut  $V$  ad  $A$ , id est, ut  $BC$  ad circumferentiam circuli cujus radius est  $A$ . Tempus autem, quo pulsus percurrit spatium  $BC$ , est ad tempus quo percurrit longitudinem huic circumferentiæ æqualem, in eadem ratione; ideoque tempore talis oscillationis pulsus percurrit longitudinem huic circumferentiæ æqualem. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Velocitas pulsuum ea est, quam acquirunt gravia æqualiter accelerato motu cadendo, & casu suo describendo dimidium altitudinis A. Nam tempore casus hujus, cum velocitate cadendo acquisita, pulsus percurrat spatium quod erit æquale toti altitudini A; ideoque tempore oscillationis unius ex itu & reditu compositæ percurrat spatium æquale circumferentiæ circuli radio A descripti: erit enim tempus casus ad tempus oscillationis ut radius circuli ad ejusdem circumferentiam.

*Corol. 2.* Unde cum altitudo illa  $A$  sit ut fluidi vis elastica directe & densitas ejusdem inverse; velocitas pulsuum erit in ratione composita ex subduplicata ratione densitatis inverse & subduplicata ratione vis elasticæ directe.



## PROPOSITIO L. PROBLEMA XII.

*Invenire pulsuum distantias.*

Corporis, cujus tremore pulsus excitantur, inveniatur numerus vibrationum dato tempore. Per numerum illum dividatur spatium quod pulsus eodem tempore perecurrere possit, & pars inventa erit pulsus unius latitudo. *Q. E. I.*

*Scholium.*

Speſtant propoſitiones noviffimæ ad motum lucis & ſonorum. Lux enim cum propagetur ſecundum lineas rectas, in aſtione ſola (per prop. xli. & xlii.) conſiſtere nequit. Soni vero propterea quod a corporibus tremulis oriantur, nihil aliud ſunt quam aëris pulſus propagati, per prop. xliii. Confirmatur id ex tremoribus quos excitant in corporibus objectis, ſi modo vehementes ſint & graves, quales ſunt ſoni tympanorum. Nam tremores celeriores & breviores difficilius excitantur. Sed & ſonos quosvis, in chordas corporibus ſonoris uniſonas impactos, excitare tremores notiffimum eſt. Confirmatur etiam ex velocitate ſonorum. Nam cum pondera ſpecifica aquæ pluviæ & argenti vivi ſint ad invicem ut 1 ad 13 $\frac{1}{2}$  circiter, & ubi mercurius in *Barometro* altitudinem attingit digitorum *Anglicorum* 30, pondus ſpecificum aëris & aquæ pluviæ ſint ad invicem ut 1 ad 870 circiter: erunt pondera ſpecifica aëris & argenti vivi ut 1 ad 11890. Proinde cum altitudo argenti vivi ſit 30 digitorum, altitudo aëris uniformis, cujus pondus aërem noſtrum ſubjectum comprimere poſſet, erit 356700 digitorum, ſeu pedum *Anglicorum* 29725. Eſtque hæc altitudo illa ipſa quam in conſtructione ſuperioris problematis nominavimus A. Circuli radio 29725 pedum deſcripti circumferentia eſt pedum 186768. Et cum pendulum digitos 39 $\frac{1}{2}$  longum oſcillationem ex itu & reditu compoſitam tempore minutorum duorum ſecundorum, uti notum eſt, abſolvat; pendulum pedes 29725 ſeu digitos 356700 longum oſcillationem conſimilem tempore minutorum ſecundorum 190 $\frac{1}{4}$  abſolvere debet. Eo igitur tempore ſonus progrediendo conficiet pedes 186768, ideoque tempore minuti unius ſecundi pedes 979.

Cæterum

Cæterum in hoc computo nulla habetur ratio craſſitudinis ſolidarum particularum aëris, per quam ſonus utique propagatur in inſtanti. Cum pondus aëris ſit ad pondus aquæ ut 1 ad 870, & ſales ſint fere duplo denſiores quam aqua; ſi particulæ aëris ponantur eſſe ejusdem circiter denſitatis cum particulis vel aquæ vel ſalium; & raritas aëris erit ad intervallum inter centra particularum, ut 1 ad 9 vel 10 circiter, & ad intervallum inter particulas ut 1 ad 8 vel 9. Proinde ad pedes 979, quos ſonus tempore minuti unius ſecundi juxta calculum ſuperiorem conficiet, addere licet pedes 2 $\frac{1}{2}$  ſeu 109 circiter, ob craſſitudinem particularum aëris: & ſic ſonus tempore minuti unius ſecundi conficiet pedes 1088 circiter.

His adde quod vapores in aëre latentes, cum ſint alterius elateris & alterius toni, vix aut ne vix quidem participant motum aëris veri quo ſoni propagantur. His autem quieſcentibus, motus ille celerius propagabitur per ſolum aërem verum, idque in ſubduplicata ratione minoris materiæ. Ut ſi atmophæra conſtet ex decem partibus aëris veri & una parte vaporum, motus ſonorum celerior erit in ſubduplicata ratione 11 ad 10, vel in integra circiter ratione 21 ad 20, quam ſi propagaretur per undecim partes aëris veri: ideoque motus ſonorum ſupra inventus, augendus erit in hac ratione. Quo pacto ſonus, tempore minuti unius ſecundi, conficiet pedes 1142.

Hæc ita ſe habere debent tempore verno & autumnali, ubi aër per calorem temperatum rareſcit & ejus vis elatiſtica nonnihil intenditur. At hyberno tempore, ubi aër per frigus condenſatur, & ejus vis elatiſtica remittitur, motus ſonorum tardior eſſe debet in ſubduplicata ratione denſitatis; & viciffim æſtivo tempore debet eſſe velocior.

Conſtat autem per experimenta quod ſoni tempore minuti unius ſecundi eundo conficiunt pedes *Londinenſes* plus minus 1142, *Pariſienſes* vero 1070.

Cognita ſonorum velocitate innotefcunt etiam intervalla pulſuum. Invenit utique *D. Sauveur*, factis a ſe experimentis, quod fiſtula aperta, cujus longitudo eſt pedum *Parienſium* plus minus quinque, ſonum edit ejusdem toni cum ſono chordæ quæ tempore minuti unius ſecundi centies recurrit. Sunt igitur pulſus plus minus centum in ſpatio pedum *Parienſium* 1070, quos ſonus tempore minuti



374 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
DE MOTU  
CORPORUM  
nuti unius secundi percurrit; ideoque pulsus unus occupat spatium pedum *Parissensium* quasi 10 $\frac{1}{2}$ , id est, duplam circiter longitudinem fistulæ. Unde verisimile est quod latitudines pulsuum, in omnium apertarum fistularum sonis, æquantur duplis longitudinibus fistularum.

Porro cur soni cessante motu corporis sonori statim cessant, neque diutius audiuntur ubi longissime distamus a corporibus sonoris, quam cum proxime absumus, patet ex corollario propositionis XLVII. libri hujus. Sed & cur soni in tubis stentorophonicis valde augentur ex allatis principiis manifestum est. Motus enim omnis reciprocus singulis recursibus a causa generante augeri solet. Motus autem in tubis dilatationem sonorum impediens, tardius amittitur & fortius recurrit, & propterea a motu novo singulis recursibus impresso magis augetur. Et hæc sunt præcipua phaenomena sonorum.

### SECTIO IX.

*De motu circulari fluidorum.*

### HYPOTHESIS.

**R**essentiã, quæ oritur ex defectu lubricitatis partium fluidi, cæteris paribus, proportionalem esse velocitati, qua partes fluidi separantur ab invicem.

### PROPOSITIO LI. THEOREMA XXXIX.

*Si cylindrus solidus infinite longus in fluido uniformi & infinito circa axem positione datum uniformi cum motu revoleatur, & ab hujus impulsu solo agatur fluidum in orbem, perseveret autem fluidi pars unaquæque uniformiter in motu suo; dico quod tempora periodica partium fluidi sunt ut ipsarum distantie ab axe cylindri.*

Sit *AFL* cylindrus uniformiter circa axem *S* in orbem actus, & circulis concentricis *BGM*, *CHN*, *DIO*, *EKP*, &c. distinguatur fluidum

### PRINCIPIA MATHEMATICA. 375

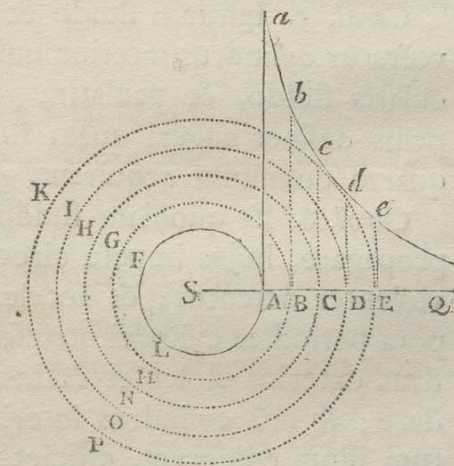
LIBER  
SECUNDUS.

fluidum in orbem cylindricos innumeros concentricos solidos ejusdem crassitudinis. Et quoniam homogeneous est fluidum, impressiones contiguorum orbium in se mutuo factæ erunt (per hypothesin) ut eorum translationes ab invicem, & superficies contiguæ in quibus impressiones fiunt. Si impressio in orbem aliquem major est vel minor ex parte concava quam ex parte convexa; prævalebit impressio fortior, & motum orbis vel accelerabit vel retardabit, prout in eandem regionem cum ipsius motu vel in contrariam dirigitur. Proinde ut orbis unusquisque in motu suo uniformiter perseveret, debent impressiones ex parte utraque sibi invicem æquari & fieri in regiones contrarias. Unde cum impressiones sunt ut contiguæ superficies & harum translationes ab invicem, erunt translationes inverse ut superficies, hoc est, inverse ut superficierum distantie ab axe. Sunt autem differentie motuum angularium circa axem ut hæ translationes applicatæ ad distantias, sive ut translationes directæ & distantie inverse; hoc est,

conjugatis rationibus, ut quadrata distantiarum inverse. Quare si ad infinitæ rectæ *SABCDEQ* partes singulas erigantur perpendiculara *Aa*, *Bb*, *Cc*, *Dd*, *Ee*, &c. ipsarum *SA*, *SB*, *SC*, *SD*, *SE*, &c. quadratis reciproce proportionalia, & per terminos perpendicularium duci intelligatur linea curva hyperbolica; erunt summæ differentiarum, hoc est, motus toti angulares, ut respondentes summæ linearum *Aa*, *Bb*, *Cc*, *Dd*, *Ee*, id est, si ad constituendum medium uniformiter fluidum, orbium numerus augeatur & latitudo minuatur in infinitum, ut area hyperbolicae his summis analogæ *AaQ*, *BbQ*, *CcQ*, *DdQ*, *EeQ*, &c. Et tempora motibus angularibus reciproce proportionalia, erunt etiam his areis reciproce proportionalia. Est igitur tempus periodicum particulæ cujusvis *D* reciproce ut area *DdQ*, hoc est (per notas curvarum quadraturas) directè ut distantia *SD*. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Hinc motus angulares particularum fluidi sunt reciproce ut ipsarum distantie ab axe cylindri, & velocitates absolutæ sunt æquales.

*Corol. 2.*





*Corol. 2.* Si fluidum in vase cylindrico longitudinis infinitæ contineatur, & cylindrum alium interiorem contineat, revolvatur autem cylindrus uterque circa axem communem, sintque revolutionum tempora ut ipsorum semidiametri, & perseveret fluidi pars unaquæque in motu suo: erunt partium singularum tempora periodica ut ipsarum distantia ab axe cylindrorum.

*Corol. 3.* Si cylindro & fluido ad hunc modum motis addatur vel auferatur communis quilibet motus angularis; quoniam hoc novo motu non mutatur attritus mutuus partium fluidi, non mutabuntur motus partium inter se. Nam translationes partium ab invicem pendunt ab attritu. Pars quælibet in eo perseverabit motu, qui, attritu utrinque in contrarias partes facto, non magis acceleratur quam retardatur.

*Corol. 4.* Unde si toti cylindrorum & fluidi systemati auferatur motus omnis angularis cylindri exterioris, habebitur motus fluidi in cylindro quiescente.

*Corol. 5.* Igitur si fluido & cylindro exteriore quiescentibus, revolvatur cylindrus interior uniformiter; communicabitur motus circularis fluido, & paulatim per totum fluidum propagabitur; nec prius desinet augeri quam fluidi partes singulae motum corollario quarto definitum acquirant.

*Corol. 6.* Et quoniam fluidum conatur motum suum adhuc latius propagare, hujus impetu circumagetur etiam cylindrus exterior nisi violenter detentus; & accelerabitur ejus motus quoad usque tempora periodica cylindri utriusque æquentur inter se. Quod si cylindrus exterior violenter detineatur, conabitur is motum fluidi retardare; & nisi cylindrus interior vi aliqua extrinsecus impressa motum illum conservet, efficiet ut idem paulatim cesset.

Quæ omnia in aqua profunda stagnante experiri licet.

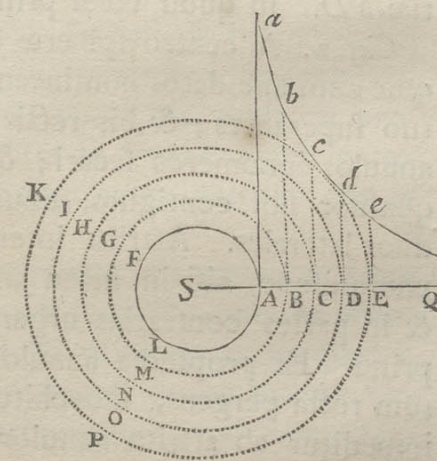
PROPO.

PROPOSITIO LII. THEOREMA XL.

*Si sphaera solida, in fluido uniformi & infinito, circa axem positione datum uniformi cum motu revolvatur, & ab hujus impulsu solo agatur fluidum in orbem; perseveret autem fluidi pars unaquæque uniformiter in motu suo: dico quod tempora periodica partium fluidi erunt ut quadrata distantiarum a centro sphaerae.*

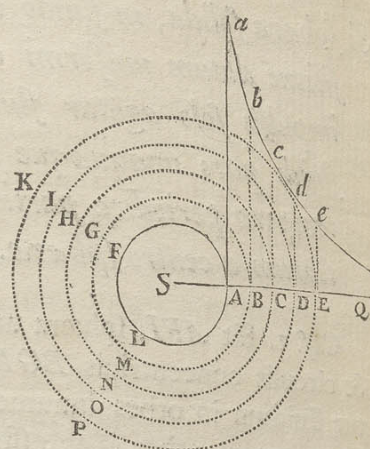
*Cas. 1.* Sit *AFL* sphaera uniformiter circa axem *S* in orbem acta; & circulis concentricis *BGM*, *CHN*, *DIO*, *EKP*, &c. distinguatur fluidum in orbes innumeros concentricos ejusdem crassitudinis. Finge autem orbes illos esse solidos; & quoniam homogeneous est fluidum, impressiones contiguum orbium in se mutuo factæ, erunt

(per hypothesin) ut eorum translationes ab invicem & superficies contiguae in quibus impressiones fiunt. Si impressio in orbem aliquem major est vel minor ex parte concava quam ex parte convexa; prævalebit impressio fortior, & velocitatem orbis vel accelerabit vel retardabit, prout in eandem regionem cum ipsius motu vel in contrariam dirigitur. Proinde ut orbis unusquisque in motu suo perseveret uniformiter, debebunt impressiones ex parte utraque sibi invicem æuari, & fieri in regiones contrarias. Unde cum impressiones sint ut contiguae superficies & harum translationes ab invicem; erunt translationes inverse ut superficies, hoc est, inverse ut quadrata distantiarum superficialium a centro. Sunt autem differentiae motuum angularium circa axem ut hæ translationes applicatae ad distantias, sive ut translationes directæ & distantiae inverse; hoc est, conjunctis rationibus ut cubi distantiarum inverse. Quare si ad rectæ infinitæ *SABCDEQ* partes singulas erigantur perpendiculara *Aa*, *Bb*, *Cc*, *Cc*, *Dd*,





*Dd, Ee*, &c. ipsarum *SA, SB, SC, SD, SE*, &c. cubis reciproce proportionalia, erunt summæ differentiarum, hoc est, motus toti angulares, ut respondentes summæ linearum *Aa, Bb, Cc, Dd, Ee*: id est (si ad constituendum medium uniformiter fluidum, numerus orbium augeatur & latitudo minuatur in infinitum) ut area hyperbolicae his summis analogæ *AaQ, BbQ, CcQ, DdQ, EeQ*, &c. Et tempora periodica motibus angularibus reciproce proportionalia erunt etiam his areis reciproce proportionalia. Est igitur tempus periodicum orbis cujusvis *DIO* reciproce ut area *DdQ*, hoc est, per notas curvarum quadraturas, directe ut quadratum distantiae *SD*. Id quod volui primo demonstrare.



*Cas. 2.* A centro sphaeræ ducantur infinitæ rectæ quam plurimæ, quæ cum axe datos contineant angulos, æqualibus differentiis se mutuo superantes; & his rectis circa axem revolutis concipe orbes in annulos innumeros secari; & annulus unusquisque habebit annulos quatuor sibi contiguos, unum interiorem, alterum exteriorem & duos laterales. Attritu interioris & exterioris non potest annulus unusquisque, nisi in motu juxta legem casus primi facti, æqualiter & in partes contrarias urgeri. Patet hoc ex demonstratione casus primi. Et propterea annulorum series quælibet a globo in infinitum recta pergens, movebitur pro lege casus primi, nisi quatenus impeditur ab attritu annulorum ad latera. At in motu hac lege facto attritus annulorum ad latera nullus est; neque ideo motum, quo minus hac lege fiat, impedit. Si annuli, qui a centro æqualiter distant, vel citius revolverentur vel tardius juxta polos quam juxta eclipticam; tardiores accelerarentur, & velociore retardarentur ab attritu mutuo, & sic vergerent semper tempora periodica ad æqualitatem, pro lege casus primi. Non impedit igitur hic attritus quo minus motus fiat secundum legem casus primi, & propterea lex illa obtinebit: hoc est, annulorum singulorum tempora periodica erunt ut quadrata distantiarum ipsorum a centro globi. Quod volui secundo demonstrare.

Cas.

*Cas. 3.* Dividatur jam annulus unusquisque sectionibus transversis in particulas innumeras constituentes substantiam absolute & uniformiter fluidam; & quoniam hæ sectiones non spectant ad legem motus circularis, sed ad constitutionem fluidi solummodo conducunt, perseverabit motus circularis ut prius. His sectionibus annuli omnes quam minimi asperitatem & vim attritus mutui aut non mutabunt, aut mutabunt æqualiter. Et manente causarum proportionem manebit effectuum proportio, hoc est, proportio motuum & periodicorum temporum. *Q. E. D.* Cæterum cum motus circularis, & inde orta vis centrifuga, major sit ad eclipticam quam ad polos; debet cau-  
sa aliqua adesse qua particula singula in circulis suis retineatur; ne materia, quæ ad eclipticam est, recedat semper a centro & per exteriora vorticis migret ad polos, indeque per axem ad eclipticam circulatione perpetua revertatur.

*Corol. 1.* Hinc motus angulares partium fluidi circa axem globi, sunt reciproce ut quadrata distantiarum a centro globi, & velocitates absolutæ reciproce ut eadem quadrata applicata ad distantias ab axe.

*Corol. 2.* Si globus in fluido quiescente similari & infinito circa axem positione datum uniformi cum motu revolvatur, communicabitur motus fluido in morem vorticis, & motus iste paulatim propagabitur in infinitum; neque prius cessabit in singulis fluidi partibus accelerari, quam tempora periodica singularum partium sint ut quadrata distantiarum a centro globi.

*Corol. 3.* Quoniam vorticis partes interiores ob majorem suam velocitatem atterunt & urgent exteriores, motumque ipsis ea actione perpetuo communicant, & exteriores illi eandem motus quantitatem in alios adhuc exteriores simul transferunt, eaque actione servant quantitatem motus sui plane invariata; patet quod motus perpetuo transfertur a centro ad circumferentiam vorticis, & per infinitatem circumferentiæ absorbetur. Materia inter sphaericas duas qualvis superficies vortici concentricas nunquam accelerabitur, eo quod motum omnem a materia interiore acceptum transfert semper in exteriorem.

*Corol. 4.* Proinde ad conservationem vorticis constanter in eodem movendi statu, requiritur principium aliquod activum, a quo globus eandem semper quantitatem motus accipiat, quam imprimit in ma-

C c c 2

teriam



teriam vorticis. Sine tali principio necesse est ut globus & vorticis partes interiores, propagantes semper motum suum in exteriores, neque novum aliquem motum recipientes, tardescant paulatim & in orbem agi desinant.

*Corol. 5.* Si globus alter huic vortici ad certam ab ipsius centro distantiam innaret, & interea circa axem inclinatione datum vi aliqua constanter revolveretur; hujus motu raperetur fluidum in vorticem: & primo revolveretur hic vortex novus & exiguus una cum globo circa centrum alterius, & interea latius serperet ipsius motus, & paulatim propagaretur in infinitum, ad modum vorticis Primi. Et eadem ratione, qua hujus globus raperetur motu vorticis alterius, raperetur etiam globus alterius motu hujus, sic ut globi duo circa intermedium aliquod punctum revolverentur, seque mutuo ob motum illum circularem fugerent, nisi per vim aliquam cohibiti. Postea si vires constanter impressæ, quibus globi in motibus suis perseverant, cessarent, & omnia legibus mechanicis permitterentur, langueretur paulatim motus globorum (ob rationem in corol. 3. & 4. assignatam) & vortices tandem conquiescerent.

*Corol. 6.* Si globi plures datis in locis circum axes positione datos certis cum velocitatibus constanter revolverentur, fierent vortices totidem in infinitum pergentes. Nam globi singuli eadem ratione, qua unus aliquis motum suum propagat in infinitum, propagabunt etiam motus suos in infinitum, adeo ut fluidi infiniti pars unaquæque eo agitetur motu qui ex omnium globorum actionibus resultat. Unde vortices non definientur certis limitibus, sed in se mutuo paulatim excurrent; globique per actiones vorticum in se mutuo perpetuo movebuntur de locis suis, uti in corollario superiore expositum est; neque certam quamvis inter se positionem servabunt, nisi per vim aliquam retenti. Cessantibus autem viribus illis quæ in globos constanter impressæ conservant hosce motus, materia ob rationem in corollario tertio & quarto assignatam, paulatim requiescet & in vortices agi desinet.

*Corol. 7.* Si fluidum simile claudatur in vase sphaerico, ac globi in centro consistentis uniformi rotatione agatur in vorticem, globus autem & vas in eandem partem circa axem eundem revolvantur, sintque eorum tempora periodica ut quadrata semidiametrorum: partes fluidi non prius perseverabunt in motibus suis sine acceleratione

tione & retardatione, quam sint eorum tempora periodica ut quadrata distantiarum a centro vorticis. Alia nulla vorticis constitutio potest esse permanens.

*Corol. 8.* Si vas, fluidum inclusum, & globus servant hunc motum, & motu præterea communi angulari circa axem quemvis datum revolvantur; quoniam hoc motu novo non mutatur attritus partium fluidi in se invicem, non mutabuntur motus partium inter se. Nam translationes partium inter se pendent ab attritu. Pars quælibet in eo perseverabit motu, quo fit ut attritu ex uno latere non magis tardetur quam acceleretur attritu ex altero.

*Corol. 9.* Unde si vas quiescat ac detur motus globi, dabitur motus fluidi. Nam concipe planum transire per axem globi & motu contrario revolvi; & pone summam temporis revolutionis hujus & revolutionis globi esse ad tempus revolutionis globi, ut quadratum semidiametri vasis ad quadratum semidiametri globi: & tempora periodica partium fluidi respectu plani hujus erunt ut quadrata distantiarum suarum a centro globi.

*Corol. 10.* Proinde si vas vel circa axem eundem cum globo, vel circa diversum aliquem data cum velocitate quacunque moveatur, dabitur motus fluidi. Nam si systemati toti auferatur vasis motus angularis, manebunt motus omnes iidem inter se qui prius, per corol. viii. Et motus isti per corol. ix. dabuntur.

*Corol. 11.* Si vas & fluidum quiescant & globus uniformi cum motu revolvatur, propagabitur motus paulatim per fluidum totum in vas, & circumagetur vas nisi violenter detentum, neque prius definiet fluidum & vas accelerari, quam sint eorum tempora periodica aequalia temporibus periodicis globi. Quod si vas vi aliqua detineatur vel revolvatur motu quovis constanti & uniformi, deveniet medium paulatim ad statum motus in corollariis viii. ix. & x. definiti, nec in alio unquam statu quocunque perseverabit. Deinde vero si, viribus illis cessantibus quibus vas & globus certis motibus revolvebantur, permittatur systema totum legibus mechanicis; vas & globus in se invicem agent mediante fluido, neque motus suos in se mutuo per fluidum propagare prius cessabunt, quam eorum tempora periodica æquantur inter se, & systema totum ad instar corporis unius solidi simul revolvatur.

*Scholium.*



*Scholium.*

In his omnibus suppono fluidum ex materia quoad densitatem & fluiditatem uniformi constare. Tale est in quo globus idem eodem cum motu, in eodem temporis intervallo, motus similes & æquales, ad æquales semper a se distantias, ubivis in fluido constitutus, propagare possit. Conatur quidem materia per motum suum circula rem recedere ab axe vorticis, & propterea premit materiam omnem ulterio rem. Ex hac pressione fit attritus partium fortior & separatio ab invicem difficilior; & per consequens diminuitur materiæ fluiditas. Rursus si partes fluidi sunt alicubi crassiores seu majores, fluiditas ibi minor erit, ob pauciores superficies in quibus partes separantur ab invicem. In hujusmodi casibus deficientem fluiditatem vel lubricitatem partium vel lentore aliave aliqua conditione restitui suppono. Hoc nisi fiat, materia ubi minus fluida est magis cohaerebit & segnior erit, ideoque motum tardius recipiet & longius propagabit quam pro ratione superius assignata. Si figura vasis non sit sphaerica, movebuntur particulae in lineis non circularibus sed conformibus eidem vasis figurae, & tempora periodica erunt ut quadrata mediocrium distantiarum a centro quamproxime. In partibus inter centrum & circumferentiam, ubi latiora sunt spatia, tardiores erunt motus, ubi angustiora velociore, neque tamen particulae velociore petent circumferentiam. Arcus enim describent minus curvos, & conatus recedendi a centro non minus diminuetur per decrementum hujus curvaturæ, quam augebitur per incrementum velocitatis. Pergendo a spatiis angustioribus in latiora recedent paulo longius a centro, sed isto recessu tardescunt; & accedendo postea de latioribus ad angustiora accelerabuntur, & sic per vices tardescunt & accelerabuntur particulae singulae in perpetuum. Hæc ita se habebunt in vase rigido. Nam in fluido infinito constitutio vorticum innotescit per propositionis hujus corollarium sextum.

Proprietates autem vorticum hac propositione investigare conatus sum, ut pertentarem siqua ratione phaenomena coelestia per vortices explicari possint. Nam phaenomenon est, quod planetarum circa jovem revolvantium tempora periodica sunt in ratione sesquialtera distantiarum a centro jovis; & eadem regula obtinet in planetis qui circa solem revolvuntur. Obtenient autem hæc regulae in plane-

tis

is utrisque quam accuratissime, quatenus observationes astronomicæ hæcenus prodidere. Ideoque si planetae illi a vorticibus circa jovem & solem revolvantibus deferantur, debebunt etiam hi vortices eadem lege revolvi. Verum tempora periodica partium vorticis prodierunt in ratione duplicata distantiarum a centro motus: neque potest ratio illa diminui & ad rationem sesquialteram reduci, nisi vel materia vorticis eo fluidior sit quo longius distat a centro, vel resistentia, quæ oritur ex defectu lubricitatis partium fluidi, ex aucta velocitate qua partes fluidi separantur ab invicem, augeatur in majori ratione quam ea est in qua velocitas augetur. Quorum tamen neutrum rationi consentaneum videtur. Partes crassiores & minus fluidæ, nisi graves sint in centrum, circumferentiam petent; & verisimile est quod, etiamsi demonstrationum gratia hypothesein talem initio sectionis hujus proposuerim, ut resistentia velocitati proportionalis esset, tamen resistentia in minori sit ratione quam ea velocitatis est. Quo concesso, tempora periodica partium vorticis erunt in majori quam duplicata ratione distantiarum ab ipsius centro. Quod si vortices (uti aliquorum est opinio) celerius moveantur prope centrum, dein tardius usque ad certum limitem, tum denuo celerius juxta circumferentiam; certe nec ratio sesquialtera neque alia quævis certa ac determinata obtinere potest. Viderint itaque philosophi quo pacto phaenomenon illud rationis sesquialteræ per vortices explicari possit.

PROPOSITIO LIII. THEOREMA XLI.

*Corpora, quæ in vortice delata in orbem redeunt, ejusdem sunt densitatis cum vortice, & eadem lege cum ipsius partibus quoad velocitatem & cursus determinationem moventur.*

Nam si vorticis pars aliqua exigua, cujus particulae seu puncta physica datum servant situm inter se, congelari supponatur: hæc, quoniam neque quoad densitatem suam, neque quoad vim insitam aut figuram suam mutatur, movebitur eadem lege ac prius: & contra, si vorticis pars congelata & solida ejusdem sit densitatis cum reliquo vortice, & resolvatur in fluidum; movebitur hæc eadem lege ac prius, nisi quatenus ipsius particulae jam fluidæ factæ moveantur inter-

inter



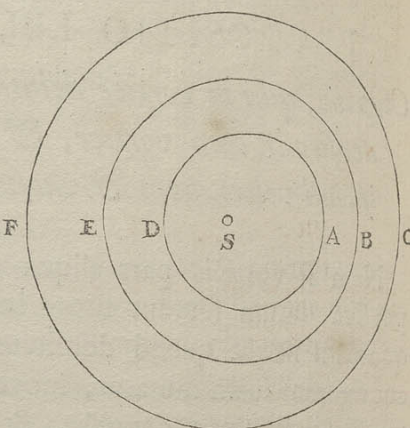
inter se. Negligatur igitur motus particularum inter se, tanquam ad totius motum progressivum nil spectans, & motus totius idem erit ac prius. Motus autem idem erit cum motu aliarum vorticis partium a centro æqualiter distantium, propterea quod solidum in fluidum resolutum fit pars vorticis cæteris partibus consimilis. Ergo solidum, si sit ejusdem densitatis cum materia vorticis, eodem motu cum ipsius partibus movebitur, in materia proxime ambiente relative quiescens. Sin densius sit, jam magis conabitur recedere a centro vorticis quam prius; ideoque vorticis vim illam, qua prius in orbita sua tanquam in æquilibrio constitutum retinebatur, jam superans, recedet a centro & revolvendo describet spiralem, non amplius in eundem orbem rediens. Et eodem argumento si rarius sit, accedet ad centrum. Igitur non redibit in eundem orbem nisi sit ejusdem densitatis cum fluido. Eo autem in casu ostensum est, quod revolveretur eadem lege cum partibus fluidi a centro vorticis æqualiter distantibus. *Q. E. D.*

*Corol. 1.* Ergo solidum quod in vortice revolvitur & in eundem orbem semper redit, relative quiescit in fluido cui innatat.

*Corol. 2.* Et si vortex sit quoad densitatem uniformis, corpus idem ad quamlibet a centro vorticis distantiam revolvitur potest.

*Scholium.*

Hinc liquet planetas a vorticibus corporeis non deferri. Nam planetæ secundum hypothesein *Copernicæam* circa solem delati revolvuntur in ellipsis umbilicum habentibus in sole, & radiis ad solem ductis areas describunt temporibus proportionales. At partes vorticis tali motu revolvuntur nequeunt. Designent *AD, BE, CF*, orbis tres circa solem *S* descriptos, quorum extimus *CF* circulus fit soli concentricus, & interiorum duorum aphelia sint *A, B* & perihelia *D, E*. Ergo corpus quod revolvitur in orbe *CF*, radio ad solem ducto areas temporibus proportionales



portionales describendo, movebitur uniformi cum motu. Corpus autem, quod revolvitur in orbe *BE*, tardius movebitur in aphelio *B* & velocius in perihelio *E*, secundum leges astronomicas; cum tamen secundum leges mechanicas materia vorticis in spatio angustiore inter *A* & *C* velocius moveri debeat quam in spatio latiore inter *D* & *F*; id est, in aphelio velocius quam in perihelio. Quæ duo repugnant inter se. Sic in principio signi virginis, ubi aphelium martis jam versatur, distantia inter orbem martis & veneris est ad distantiam eorundem orbium in principio signi piscium ut ternarius ad binarium circiter, & propterea materia vorticis inter orbem illos in principio piscium debet esse velocior quam in principio virginis in ratione ternarii ad binarium. Nam quo angustius est spatium per quod eadem materiae quantitas eodem revolutionis unius tempore transit, eo majori cum velocitate transire debet. Igitur si terra in hac materia coelesti relative quiescens ab ea deferretur, & una circa solem revolveretur, foret hujus velocitas in principio piscium ad ejusdem velocitatem in principio virginis in ratione sesquialtera. Unde solis motus diurnus apparens in principio virginis major esset quam minorum primorum septuaginta, & in principio piscium minor quam minorum quadraginta & octo: cum tamen (experientia teste) apparens iste solis motus major sit in principio piscium quam in principio virginis, & propterea terra velocior in principio virginis quam in principio piscium. Itaque hypothesi vorticum cum phænomenis astronomicis omnino pugnat, & non tam ad explicandos quam ad perturbandos motus coelestes conducit. Quomodo vero motus isti in spatiis liberis sine vorticibus peraguntur intelligi potest ex libro primo, & in mundi systemate jam plenius docebitur.



DE  
MUNDI  
SYSTEMATE.  
LIBER TERTIUS.

IN libris præcedentibus principia philosophiæ tradidi, non tamen philosophica sed mathematica tantum, ex quibus videlicet in rebus philosophicis disputari possit. Hæc sunt motuum & virium leges & conditiones, quæ ad philosophiam maxime spectant. Eadem tamen, ne sterilia videantur, illustravi scholiis quibusdam philosophicis, ea tractans quæ generalia sunt, & in quibus philosophia maxime fundari videtur, uti corporum densitatem & resistentiam, spatia corporibus vacua, motumque lucis & sonorum. Superest ut ex iisdem principiis doceamus constitutionem systematis mundani. De hoc argumento composueram librum tertium methodo populari, ut a pluribus legeretur. Sed quibus principia posita satis intellecta non fuerint, ii vim consequentiarum minime percipient, neque præjudicia deponent, quibus a multis retro annis insueverunt: & propterea ne res in disputationes trahatur, summam libri illius transfuli in propositiones, more mathematico, ut ab iis solis legantur qui principia prius evolverint. Veruntamen quoniam propositiones ibi quam plurimæ occurrant, quæ lectoribus etiam mathematice doctis moram nimiam injicere possint, auctor esse nolo ut quisquam eas omnes evolvat; suffecerit si quis definitiones, leges motuum & sectiones tres priores libri primi sedulo legat, dein transeat ad hunc librum de mundi systemate, & reliquas librorum priorum propositiones hic citatas pro lubitu consulat.

REGULÆ

REGULÆ  
PHILOSOPHANDI.

## REGULA I.

*Causas rerum naturalium non plures admitti debere, quam quæ & veræ sint & earum phænomenis explicandis sufficiant.*

Incunt utique philosophi: Natura nihil agit frustra, & frustra fit per plura quod fieri potest per pauciora. Natura enim simplex est & rerum causis superfluis non luxuriat.

## REGULA II.

*Ideoque effectuum naturalium ejusdem generis eadem assignanda sunt causæ, quatenus fieri potest.*

Uti respirationis in homine & in bestia; descensus lapidum in Europa & in America; lucis in igne culinari & in sole; reflexionis lucis in terra & in planetis.

## REGULA III.

*Qualitates corporum quæ intendi & remitti nequeunt, quæque corporibus omnibus competunt in quibus experimenta instituere licet, pro qualitatibus corporum universorum habendæ sunt.*

Nam qualitates corporum non nisi per experimenta innotescunt, ideoque generales statuendæ sunt quotquot cum experimentis generaliter

D d 2



neraliter quadrant; & quæ minui non possunt, non possunt auferri. Certe contra experimentorum tenorem somnia temere confingenda non sunt, nec a naturæ analogia recedendum est, cum ea simplex esse soleat & sibi semper consona. Extensio corporum non nisi per sensus innotescit, nec in omnibus sentitur: sed quia sensibilibus omnibus competit, de universis affirmatur. Corpora plura dura esse experimur. Oritur autem durities totius a duritie partium, & inde non horum tantum corporum quæ sentiuntur, sed aliorum etiam omnium particulas indivisas esse duras merito concludimus. Corpora omnia impenetrabilia esse non ratione sed sensu colligimus. Quæ tractamus, impenetrabilia inveniuntur, & inde concludimus impenetrabilitatem esse proprietatem corporum universorum. Corpora omnia mobilia esse, & viribus quibusdam (quas vires inertiae vocamus) perseverare in motu vel quiete, ex hisce corporum visorum proprietatibus colligimus. Extensio, durities, impenetrabilitas, mobilitas & vis inertiae totius oritur ab extensione, duritie, impenetrabilitate, mobilitate & viribus inertiae partium: & inde concludimus omnes omnium corporum partes minimas extendi & duras esse & impenetrabiles & mobiles & viribus inertiae præditas. Et hoc est fundamentum philosophiæ totius. Porro corporum partes divisas & sibi mutuo contiguas ab invicem separari posse, ex phænomenis novimus, & partes indivisas in partes minores ratione distingui posse ex mathematica certum est. Utrum vero partes illæ distinctæ & nondum divisæ per vires naturæ dividi & ab invicem separari possint, incertum est. At si vel unico constaret experimento quod particula aliqua indivisa, frangendo corpus durum & solidum, divisionem pateretur: concluderemus vi hujus regulæ, quod non solum partes divisæ separabiles essent, sed etiam quod indivisæ in infinitum dividi possent.

Denique si corpora omnia in circuitu terræ gravia esse in terram, idque pro quantitate materiæ in singulis, & lunam gravem esse in terram pro quantitate materiæ suæ, & vicissim mare nostrum grave esse in lunam, & planetas omnes graves esse in se mutuo, & cometarum similem esse gravitatem in solem, per experimenta & observationes astronomicas universaliter constet: dicendum erit per hanc regulam quod corpora omnia in se mutuo gravitant. Nam & fortius erit argumentum ex phænomenis de gravitate universali, quam  
de

de corporum impenetrabilitate: de qua utique in corporibus cœlestibus nullum experimentum, nullam prorsus observationem habemus. Attamen gravitatem corporibus essentialem esse minime affirmo. Per vim insitam intelligo solam vim inertiae. Hæc immutabilis est. Gravitas recedendo a terra, diminuitur.

## REGULA IV.

*In philosophia experimentalī, propositiones ex phænomenis per inductionem collectæ, non obstantibus contrariis hypothesebus, pro veris aut accurate aut quamproxime haberi debent, donec alia occurrerint phænomena, per quæ aut accuratiores reddantur aut exceptionibus obnoxie.*

Hoc fieri debet ne argumentum inductionis tollatur per hypotheses.

PHÆNO.



# PHÆNOMENA.

## PHÆNOMENON I.

*Planetas circumjoviales, radiis ad centrum jovis ductis, areas describere temporibus proportionales, eorumque tempora periodica, stellis fixis quiescentibus, esse in ratione sesquuplicata distantiarum ab ipsius centro.*

Constat ex observationibus astronomicis. Orbes horum planetarum non differunt sensibilibus a circulis jovi concentricis, & motus eorum in his circulis uniformes deprehenduntur. Tempora vero periodica esse in sesquuplicata ratione semidiametrorum orbium consentiunt astronomi; & idem ex tabula sequente manifestum est.

*Satellitum jovialium tempora periodica.*

1<sup>d</sup>. 18<sup>h</sup>. 27'. 34". 3<sup>d</sup>. 13<sup>h</sup>. 13'. 42". 7<sup>d</sup>. 3<sup>h</sup>. 42'. 36". 16<sup>d</sup>. 16<sup>h</sup>. 32'. 9".

*Distantiæ satellitum a centro jovis.*

Ex observationibus	1	2	3	4	
Borelli	5 $\frac{2}{3}$	8 $\frac{2}{3}$	14	24 $\frac{2}{3}$	} Semidiam. Jovis
Townlei per microm.	5,52	8,78	13,47	24,72	
Cassini per telescop.	5	8	13	23	
Cassini per eclips. satell.	5 $\frac{2}{3}$	9	14 $\frac{2}{3}$	25 $\frac{2}{3}$	
Ex temporibus periodicis.	5,667	9,017	14,384	25,299	

Elongationes satellitum jovis & diametrum ejus D. Pound micrometris optimis determinavit ut sequitur. Elongatio maxima heliocentrica satellitis quarti a centro jovis micrometro in tubo quindécim pedes longo capta fuit, & prodiit in mediocri jovis a terra distantia 8'. 16" circiter. Ea satellitis tertii micrometro in telescopio

pedes

pedes 123 longo capta fuit, & prodiit in eadem jovis a terra distantia 4'. 42". Elongationes maximæ reliquorum satellitum in eadem jovis a terra distantia ex temporibus periodicis prodeunt 2'. 56". 47", & 1'. 51". 6".

Diameter jovis micrometro in telescopio pedes 123 longo sæpius capta fuit, & ad mediocrem jovis a sole vel terra distantiam reducta, semper minor prodiit quam 40", nunquam minor quam 38", sæpius 39". In telescopiis brevioribus hæc diameter est 40" vel 41". Nam lux jovis per inæqualem refrangibilitatem nonnihil dilatur, & hæc dilatio minorem habet rationem ad diametrum jovis in longioribus & perfectioribus telescopiis quam in brevioribus & minus perfectis. Tempora quibus satellites duo, primus ac tertius, transibant per corpus jovis, ab initio ingressus ad initium exitus, & ab ingressu completo ad exitum completum, observata sunt ope telescopii ejusdem longioris. Et diameter jovis in mediocri ejus a terra distantia prodiit per transitum primi satellitis 37 $\frac{1}{4}$ ", & per transitum tertii 37 $\frac{1}{2}$ ". Tempus etiam quo umbra primi satellitis transit per corpus jovis observatum fuit, & inde diameter jovis in mediocri ejus a terra distantia prodiit 37" circiter. Assumamus diametrum ejus esse 37 $\frac{1}{4}$ " quamproxime; & elongationes maximæ satellitis primi, secundi, tertii, & quarti æquales erunt semidiametris jovis 59,65, 94,94, 15,141, & 26,63 respectivæ.

## PHÆNOMENON II.

*Planetas circumsaturnios, radiis ad saturnum ductis, areas describere temporibus proportionales, & eorum tempora periodica, stellis fixis quiescentibus, esse in ratione sesquuplicata distantiarum ab ipsius centro.*

Cassinus utique ex observationibus suis distantias eorum a centro saturni & periodica tempora hujusmodi esse statuit.

*Satellitum saturniorum tempora periodica.*

1<sup>d</sup>. 21<sup>h</sup>. 18'. 27". 2<sup>d</sup>. 17<sup>h</sup>. 41'. 22". 4<sup>d</sup>. 12<sup>h</sup>. 25'. 12". 15<sup>d</sup>. 22<sup>h</sup>. 41'. 14". 7<sup>d</sup>. 7<sup>h</sup>. 48'. 00".

*Distantiæ*



*Distantiæ satellitum a centro saturni in semidiametris annuli.*

<i>Ex observationibus</i>	1 $\frac{1}{2}$ .	2 $\frac{1}{2}$ .	3 $\frac{1}{2}$ .	8.	24.
<i>Ex temporibus periodicis.</i>	1,93.	2,47.	3,45.	8.	23,35.

Quarti satellitis elongatio maxima a centro saturni ex observationibus colligi solet esse semidiametrorum octo quamproxime. At elongatio maxima satellitis hujus a centro saturni, micrometro optimo in telescopio Hugenario pedes 123 longo capta, prodit semidiametrorum octo cum septem decimis partibus semidiametri. Et ex hac observatione & temporibus periodicis, distantia satellitum a centro saturni in semidiametris annuli sunt 2,1. 2,69. 3,75. 8,7. & 25,35. Saturni diameter in eodem telescopio erat ad diametrum annuli ut 3 ad 7, & diameter annuli diebus Maii 28 & 29 anni 1719. prodit 43". Et inde diameter annuli in mediocri saturni a terra distantia est 42", & diameter saturni 18". Hæc ita sunt in telescopiis longissimis & optimis, propterea quod magnitudines apparentes corporum cœlestium in longioribus telescopiis majorem habeant proportionem ad dilatationem lucis in terminis illorum corporum quam in brevioribus. Si rejiciatur lux omnis erratica, manebit diameter saturni haud major quam 16".

## PHÆNOMENON III.

*Planetas quinque primarios mercurium, venerem, martem, jovem & saturnum orbibus suis solem cingere.*

Mercurium & venerem circa solem revolvi ex eorum phasibus lunaribus demonstratur. Plena facie lucentes ultra solem siti sunt; dimidiata e regione solis; falcata cis solem, per discum ejus ad modum macularum nonnunquam transeuntes. Ex martis quoque plena facie prope solis conjunctionem, & gibbosa in quadraturis, certum est, quod is solem ambit. De jove etiam & saturno idem ex eorum phasibus semper plenis demonstratur: hos enim luce a sole mutuata splendere ex umbris satellitum in ipsos projectis manifestum est.

PHÆ-

## PHÆNOMENON IV.

*Planetarum quinque primariorum, ☿ vel solis circa terram vel terræ circa solem tempora periodica, stellis fixis quiescentibus, esse in ratione sesquuplicata mediocrium distantiarum a sole.*

Hæc a Keplero inventa ratio in confesso est apud omnes. Eadem utique sunt tempora periodica, eademque orbium dimensiones, five sol circa terram, five terra circa solem revolvatur. Ac de mensura quidem temporum periodicorum convenit inter astronomos universos. Magnitudines autem orbium Keplerus & Bullialdus omnium diligentissime ex observationibus determinaverunt: & distantia mediocres, quæ temporibus periodicis respondent, non differunt sensibilibus a distantis quas illi invenerunt, suntque inter ipsas ut plurimum intermedia; uti in tabula sequente videre licet.

*Planetarum ac telluris tempora periodica circa solem respectu fixarum, in diebus ☿ partibus decimalibus diei.*

☿	♈	♊	♉	♄	♃
10759,275.	4332,514.	686,9785.	365,2565.	224,6176.	87,9692.

*Planetarum ac telluris distantia mediocres a sole.*

	☿	♈	♊	♉	♄	♃
Secundum Keplerum	951000.	519650.	152350.	100000.	72400.	38806.
Secundum Bullialdum	954198.	522520.	152350.	100000.	72398.	38585.
Secundum tempora periodica	954006.	520096.	152369.	100000.	72333.	38710.

De distantis mercurii & veneris a sole disputandi non est locus, cum hæc per eorum elongationes a sole determinentur. De distantis etiam superiorum planetarum a sole tollitur omnis disputatio per eclipses satellitum jovis. Etenim per eclipses illas determinatur positio umbræ quam jupiter projicit, & eo nomine habetur jovis longitudo heliocentrica. Ex longitudinibus autem heliocentrica & geocentrica inter se collatis determinatur distantia jovis.

E e e

PHÆ.



PHÆNOMENON V.

*Planetæ primarios, radiis ad terram ductis, areas describere temporibus minime proportionales; at radiis ad solem ductis, areas temporibus proportionales percurrere.*

Nam respectu terræ nunc progrediuntur, nunc stationarii sunt, nunc etiam regrediuntur: At solis respectu semper progrediuntur, idque propemodum uniformi cum motu, sed paulo celerius tamen in periheliis ac tardius in apheliis, sic ut arearum æquabilis sit descriptio. Propositio est astronomis notissima, & in jove apprimè demonstratur per eclipses satellitum, quibus eclipsibus heliocentricas planetæ hujus longitudes & distantias a sole determinari diximus.

PHÆNOMENON VI.

*Lunam radio ad centrum terræ ducto, aream tempori proportionalem describere.*

Patet ex lunæ motu apparente cum ipsius diametro apparente collato. Perturbatur autem motus lunaris aliquantulum a vi solis, sed errorum insensibiles minutias in hisce phænomenis negligo.

PROPO-

PROPOSITIONES.

PROPOSITIO I. THEOREMA I.

*Vires, quibus planetæ circumjoviales perpetuo retrahuntur a motibus rectilineis, & in orbibus suis retinentur, respicere centrum jovis, & esse reciproce ut quadrata distantiarum locorum ab eodem centro.*

Patet pars prior propositionis per phænomenon primum, & propositionem secundam vel tertiam libri primi: & pars posterior per phænomenon primum, & corollarium sextum propositionis quartæ ejusdem libri.

Idem intellige de planetis qui saturnum comitantur, per phænomenon secundum.

PROPOSITIO II. THEOREMA II.

*Vires, quibus planetæ primarii perpetuo retrahuntur a motibus rectilineis, & in orbibus suis retinentur, respicere solem, & esse reciproce ut quadrata distantiarum ab ipsius centro.*

Patet pars prior propositionis per phænomenon quintum, & propositionem secundam libri primi: & pars posterior per phænomenon quartum, & propositionem quartam ejusdem libri. Accuratissime autem demonstratur hæc pars propositionis per quietem apheliorum. Nam aberratio quam minima a ratione duplicata (per corol. 1. prop. xlv. lib. 1.) motum apsidum in singulis revolutionibus notabilem, in pluribus enormem efficere deberet.

E e e 2

PROPO-



## PROPOSITIO III. THEOREMA III.

*Vim, qua luna retinetur in orbe suo, respicere terram, & esse reciproce ut quadratum distantiae locorum ab ipsius centro.*

Patet assertionis pars prior per phaenomenon sextum, & propositionem secundam vel tertiam libri primi: & pars posterior per motum tardissimum lunaris apogæi. Nam motus ille, qui singulis revolutionibus est graduum tantum trium & minutorum trium in consequentia, contemni potest. Patet enim (per corol. 1. prop. xlv. lib. 1.) quod si distantia lunæ a centro terræ sit ad semidiametrum terræ ut  $D$  ad 1; vis a qua motus talis oriatur sit reciproce ut  $D^2$ , id est, reciproce ut ea ipsius  $D$  dignitas cujus index est 2, hoc est, in ratione distantiae paulo majore quam duplicata inverse, sed quæ partibus  $59\frac{1}{2}$  propius ad duplicatam quam ad triplicatam accedit. Oritur vero ab actione solis (uti posthac dicitur) & propterea hic negligendus est. Actio solis quatenus lunam distrahit a terra, est ut distantia lunæ a terra quamproxime; ideoque (per ea quæ dicuntur in corol. 2. prop. xlv. lib. 1.) est ad lunæ vim centripetam ut 2 ad  $357,45$  circiter, seu 1 ad  $178\frac{1}{2}$ . Et neglecta solis vi tantilla, vis reliqua qua luna retinetur in orbe erit reciproce ut  $D^2$ . Id quod etiam plenius constabit conferendo hanc vim cum vi gravitatis, ut fit in propositione sequente.

*Corol.* Si vis centripeta mediocris qua luna retinetur in orbe augeatur primo in ratione  $177\frac{1}{2}$  ad  $178\frac{1}{2}$ , deinde etiam in ratione duplicata semidiametri terræ ad mediocrem distantiam centri lunæ a centro terræ: habebitur vis centripeta lunaris ad superficiem terræ, posito quod vis illa descendendo ad superficiem terræ perpetuo augeatur in reciproca altitudinis ratione duplicata.

## PROPOSITIO IV. THEOREMA IV.

*Lunam gravitare in terram, & vi gravitatis retrahi semper a motu rectilineo, & in orbe suo retineri.*

Lunæ distantia mediocris a terra in syzygiis est semidiametrorum terrestrium, secundum *Ptolemaum* & plerosque astronomorum  $59\frac{1}{2}$ , secundum

secundum *Vendelinum* & *Hugenium* 60, secundum *Copernicum*  $60\frac{1}{2}$ , secundum *Streectum*  $60\frac{1}{2}$ , & secundum *Tychonem*  $56\frac{1}{2}$ . At *Tycho*, & quotquot ejus tabulas refractionum sequuntur, constituendo refractiones solis & lunæ (omnino contra naturam lucis) majores quam fixarum, idque scrupulis quasi quatuor vel quinque, auxerunt parallaxin lunæ scrupulis totidem, hoc est, quasi duodecima vel decima quinta parte totius parallaxeos. Corrigatur iste error, & distantia evadet quasi  $60\frac{1}{2}$  semidiametrorum terrestrium, fere ut ab aliis assignatum est. Assumamus distantiam mediocrem sexaginta semidiametrorum in syzygiis; & lunarem periodum respectu fixarum compleri diebus 27, horis 7, minutis primis 43, ut ab astronomis statuitur; atque ambitum terræ esse pedum Parisiensium  $123249600$ , uti a *Gallis* mensurantibus definitum est: & si luna motu omni privari singatur ac dimitti, ut urgente vi illa omni, qua (per corol. prop. xlii.) in orbe suo retinetur, descendat in terram; hæc spatio minuti unius primi cadendo describet pedes Parisienses  $15\frac{1}{2}$ . Colligitur hoc ex calculo vel per propositionem xxxvi. libri primi, vel (quod eodem recidit) per corollarium nonum propositionis quartæ ejusdem libri, confecto. Nam arcus illius quem luna tempore minuti unius primi, medio suo motu, ad distantiam sexaginta semidiametrorum terrestrium describat, sinus versus est pedum Parisiensium  $15\frac{1}{2}$  circiter, vel magis accurate pedum 15. dig. 1. & lin.  $1\frac{1}{2}$ . Unde cum vis illa accedendo ad terram augeatur in duplicata distantiae ratione inversa, ideoque ad superficiem terræ major sit partibus  $60 \times 60$  quam ad lunam; corpus vi illa in regionibus nostris cadendo, describere deberet spatio minuti unius primi pedes Parisienses  $60 \times 60 \times 15\frac{1}{2}$ , & spatio minuti unius secundi pedes  $15\frac{1}{2}$ , vel magis accurate pedes 15. dig. 1. & lin.  $1\frac{1}{2}$ . Et eadem vi gravia revera descendunt in terram. Nam penduli, in latitudine Lutetiæ Parisiorum ad singula minuta secunda oscillantis, longitudo est pedum trium Parisiensium & linearum  $8\frac{1}{2}$ , ut observavit *Hugenius*. Et altitudo, quam grave tempore minuti unius secundi cadendo describit, est ad dimidiam longitudinem penduli hujus in duplicata ratione circumferentiæ circuli ad diametrum ejus (ut indicavit etiam *Hugenius*) ideoque est pedum Parisiensium 15. dig. 1. lin.  $1\frac{1}{2}$ . Et propterea vis qua luna in orbe suo retinetur, si descendatur in superficiem terræ, æqualis evadit vi gravitatis apud nos, ideoque (per reg. 1. &



& . II.) est illa ipsa vis quam nos gravitatem dicere solemus. Nam si gravitas ab ea diversa esset, corpora viribus utrisque conjunctis terram petendo duplo velocius descenderent, & spatio minuti unius secundi cadendo describerent pedes Parisienses  $30\frac{1}{2}$ : omnino contra experientiam.

Calculus hic fundatur in hypothese quod terra quiescit. Nam si terra & luna moveantur circum solem, & interea quoque circum commune gravitatis centrum revolvantur: manente lege gravitatis distantia centrorum lunæ ac terræ ab invicem erit  $60\frac{1}{2}$  semidiametrorum terrestrium circiter; uti computationem ineunti patebit. Computatio autem iniri potest per prop. LX. lib. I.

*Scholium.*

Demonstratio propositionis sic fusius explicari potest. Si lunæ plures circum terram revolverentur, perinde ut sit in systemate saturni vel jovis: harum tempora periodica (per argumentum inductionis) observarent legem planetarum a *Keplero* detectam, & propterea harum vires centripetæ forent reciproce ut quadrata distantiarum a centro terræ, per prop. I. hujus. Et si earum infima esset parva, & vertices altissimorum montium prope tangeret: hujus vis centripeta qua retineretur in orbe, gravitates corporum in verticibus illorum montium (per computationem præcedentem) æquaret quamproxime, efficeretque ut eadem lunula, si motu omni quo pergit in orbe suo privaretur, defectu vis centrifugæ qua in orbe permanerat, descenderet in terram, idque eadem cum velocitate qua gravia cadunt in illorum montium verticibus, propter æqualitatem virium quibus descendunt. Et si vis illa qua lunula illa infima descendit, diversa esset a gravitate, & lunula illa etiam gravis esset in terram more corporum in verticibus montium: eadem lunula vi utraque conjuncta duplo velocius descenderet. Quare cum vires utraque, & hæ corporum gravium, & illæ lunarum, centrum terræ respiciant, & sint inter se similes & æquales, eadem (per reg. I. & II.) eandem habebunt causam. Et propterea vis illa, qua luna retinetur in orbe suo, ea ipsa erit quam nos gravitatem dicere solemus: idque maxime ne lunula in vertice montis vel gravitate careat, vel duplo velocius cadat quam corpora gravia solent cadere.

PROPO-

## PROPOSITIO V. THEOREMA V.

*Planetas circumjoviales gravitare in jovem, circumsaturnios in saturnum, & circumsolares in solem, & vi gravitatis sue retrahi semper a motibus rectilineis, & in orbibus curvilineis retineri.*

Nam revolutiones planetarum circumjovialium circa jovem, circumsaturniorum circa saturnum, & mercurii ac veneris reliquorum, que circumsolarium circa solem sunt phænomena ejusdem generis cum revolutione lunæ circa terram; & propterea (per reg. II.) a causis ejusdem generis dependent: præsertim cum demonstratum sit quod vires, a quibus revolutiones illæ dependent, respiciant centra jovis, saturni ac solis, & recedendo a jove, saturno & sole decrescant eadem ratione ac lege, qua vis gravitatis decrescit in recessu a terra.

*Corol. 1.* Gravitas igitur datur in planetas universos. Nam venerem, mercurium, cæterosque esse corpora ejusdem generis cum jove & saturno, nemo dubitat. Et cum attractio omnis per motus legem tertiam mutua sit, jupiter in satellites suos omnes, saturnus in suos, terraque in lunam, & sol in planetas omnes primarios gravitabit.

*Corol. 2.* Gravitatem, quæ planetam unumquemque respicit, esse reciproce ut quadratum distantiae locorum ab ipsius centro.

*Corol. 3.* Graves sunt planetæ omnes in se mutuo per corol. I. & 2. Et hinc jupiter & saturnus prope conjunctionem se invicem attrahendo, sensibilibus perturbant motus mutuos, sol perturbat motus lunares, sol & luna perturbant mare nostrum, ut in sequentibus explicabitur.

*Scholium.*

Hactenus vim illam qua corpora cœlestia in orbibus suis retinentur centripetam appellavimus. Eandem jam gravitatem esse constat, & propterea gravitatem in posterum vocabimus. Nam causa vis illius centripetæ, qua luna retinetur in orbe, extendi debet ad omnes planetas per reg. I, II. & IV.

PROPO-



## PROPOSITIO VI. THEOREMA VI.

*Corpora omnia in planetas singulos gravitare, & pondera eorum in eundem quemvis planetam, paribus distantis a centro planetæ, proportionalia esse quantitati materiæ in singulis.*

Descensus gravium omnium in terram (dempta saltem inæquali retardatione quæ ex aëris perexigua resistentia oritur) æqualibus temporibus fieri, jamdudum observarunt alii; & accuratissime quidem notare licet æqualitatem temporum in pendulis. Rem tentavi in auro, argento, plumbo, vitro, arena, sale communi, ligno, aqua, tritico. Comparabam pyxides duas ligneas rotundas & æquales. Unam implebam ligno, & idem auri pondus suspendebam (quam potui exacte) in alterius centro oscillationis. Pyxides ab æqualibus pedum undecim filis pendentes, constituebant pendula, quoad pondus, figuram, & aëris resistentiam omnino paria: & paribus oscillationibus, juxta positæ, ibant una & redibant diutissime. Proinde copia materiæ in auro (per corol. 1. & 6. prop. xxiv. lib. II.) erat ad copiam materiæ in ligno, ut vis motricis actio in totum aurum ad ejusdem actionem in totum lignum; hoc est, ut pondus ad pondus. Et sic in cæteris. In corporibus ejusdem ponderis differentia materiæ, quæ vel minor esset quam pars millesima materiæ totius, his experimentis manifesto deprehendi potuit. Jam vero naturam gravitatis in planetas eandem esse atque in terram, non est dubium. Elevari enim fingantur corpora hæc terrestria ad usque orbem lunæ, & una cum luna motu omni privata demitti, ut in terram simul cadant; & per jam ante ostensa certum est quod temporibus æqualibus describent æqualia spatia cum luna, ideoque quod sunt ad quantitatem materiæ in luna, ut pondera sua ad ipsius pondus. Porro quoniam satellites jovis temporibus revolvuntur quæ sunt in ratione sesquuplicata distantiarum a centro jovis, erunt eorum gravitates acceleratrices in jovem reciproce ut quadrata distantiarum a centro jovis; & propterea in æqualibus a jove distantis, eorum gravitates acceleratrices evaderent æquales. Proinde temporibus æqualibus ab æqualibus altitudinibus cadendo, describerent æqualia spatia; perinde  
ut

ut sit in gravibus in hac terra nostra. Et eodem argumento planetæ circumsolares, ab æqualibus a sole distantis demissi, descensu suo in solem æqualibus temporibus æqualia spatia describerent. Vires autem, quibus corpora inæqualia æqualiter accelerantur, sunt ut corpora; hoc est, pondera ut quantitates materiæ in planetis. Porro jovis & ejus satellitum pondera in solem proportionalia esse quantitatibus materiæ eorum patet ex motu satellitum quam maxime regulari; per corol. 3. prop. lxv. lib. I. Nam si horum aliqui magis traherentur in solem, pro quantitate materiæ suæ, quam cæteri: motus satellitum (per corol. 2. prop. lxv. lib. I.) ex inæqualitate attractionis perturbarentur. Si, paribus a sole distantis, satelles aliquis gravior esset in solem pro quantitate materiæ suæ, quam jupiter pro quantitate materiæ suæ, in ratione quacunque data, puta  $d$  ad  $e$ : distantia inter centrum solis & centrum orbis satellitis, major semper foret quam distantia inter centrum solis & centrum jovis in ratione subduplicata quam proxime; uti calculo quodam inito inveni. Et si satelles minus gravis esset in solem in ratione illa  $d$  ad  $e$ , distantia centri orbis satellitis a sole minor foret quam distantia centri jovis a sole in ratione illa subduplicata. Ideoque si in æqualibus a sole distantis, gravitas acceleratrix satellitis cujusvis in solem major esset vel minor quam gravitas acceleratrix jovis in solem, parte tantum millesima gravitatis totius; foret distantia centri orbis satellitis a sole major vel minor quam distantia jovis a sole parte  $\frac{d}{e}$  distantia totius, id est, parte quinta distantia satellitis extimi a centro jovis: quæ quidem orbis eccentricitas foret valde sensibilis. Sed orbis satellitum sunt jovi concentrici, & propterea gravitates acceleratrices jovis & satellitum in solem æquantur inter se. Et eodem argumento pondera saturni & comitum ejus in solem, in æqualibus a sole distantis, sunt ut quantitates materiæ in ipsis: & pondera lunæ ac terræ in solem vel nulla sunt, vel earum massis accurate proportionalia. Aliqua autem sunt per corol. 1. & 3. prop. v.

Quinetiam pondera partium singularum planetæ cujusque in alium quemcunque sunt inter se ut materia in partibus singulis. Nam si partes aliquæ plus gravitarent, aliæ minus, quam pro quantitate materiæ: planeta totus, pro genere partium quibus maximæ abundet, gravitaret magis vel minus quam pro quantitate materiæ totius.

F f f

Sed



Sed nec refert utrum partes illæ externæ sint vel internæ. Nam si verbi gratia corpora terrestria, quæ apud nos sunt, in orbem lunæ elevari fingantur, & conferantur cum corpore lunæ: si horum pondera essent ad pondera partium externarum lunæ ut quantitates materiæ in iisdem, ad pondera vero partium internarum in majori vel minori ratione, forent eadem ad pondus lunæ totius in majori vel minori ratione: contra quam supra ostensum est.

*Corol. 1.* Hinc pondera corporum non pendent ab eorum formis & texturis. Nam si cum formis variari possent; forent majora vel minora, pro varietate formarum, in æquali materia: omnino contra experientiam.

*Corol. 2.* Corpora universa, quæ circa terram sunt, gravia sunt in terram; & pondera omnium, quæ æqualiter a centro terræ distant, sunt ut quantitates materiæ in iisdem. Hæc est qualitas omnium in quibus experimenta instituere licet, & propterea per reg. xii. de universis affirmanda est. Si æther aut corpus aliud quodcunque vel gravitate omnino destitueretur, vel pro quantitate materiæ suæ minus gravitaret: quoniam id (ex mente *Aristotelis, Cartesii* & aliorum) non differt ab aliis corporibus nisi in forma materiæ, posset idem per mutationem formæ gradatim transmutari in corpus ejusdem conditionis cum iis, quæ pro quantitate materiæ quam maxime gravitant, & vicissim corpora maxime gravia, formam illius gradatim induendo, possent gravitatem suam gradatim amittere. Ac proinde pondera penderent a formis corporum, possentque cum formis variari, contra quam probatum est in corollario superiore.

*Corol. 3.* Spatia omnia non sunt æqualiter plena. Nam si spatia omnia æqualiter plena essent, gravitas specifica fluidi quo regio aëris impleretur, ob summam densitatem materiæ, nil cederet gravitati specificæ argenti vivi, vel auri, vel corporis alterius cujuscunque densissimi; & propterea nec aurum neque aliud quodcunque corpus in aëre descendere posset. Nam corpora in fluidis, nisi specificè graviora sint, minime descendunt. Quod si quantitas materiæ in spatio dato per rarefactionem quamcunque diminui possit, quidni diminui possit in infinitum?

*Corol. 4.* Si omnes omnium corporum particulæ solidæ sint ejusdem densitatis, neque sine poris rarefieri possint, vacuum datur. Eiusdem

Eiusdem densitatis esse dico, quarum vires inertiae sunt ut magnitudines.

*Corol. 5.* Vis gravitatis diversi est generis a vi magnetica. Nam attractio magnetica non est ut materia attracta. Corpora aliqua magis trahuntur, alia minus, plurima non trahuntur. Et vis magnetica in uno & eodem corpore intendi potest & remitti, estque nonnunquam longe major pro quantitate materiæ quam vis gravitatis, & in recessu a magnete descrescit in ratione distantiae non duplicata, sed fere triplicata, quantum ex crassis quibusdam observationibus animadvertere potui.

## PROPOSITIO VII. THEOREMA VII.

*Gravitatem in corpora universa fieri, eamque proportionalem esse quantitati materiæ in singulis.*

Planetæ omnes in se mutuo graves esse jam ante probavimus, ut & gravitatem in unumquemque seorsim spectatum esse reciproce ut quadratum distantiae locorum a centro planetæ. Et inde consequens est (per prop. lxxix. lib. i. & ejus corollaria) gravitatem in omnes proportionalem esse materiæ in iisdem.

Porro cum planetæ cujuscvis *A* partes omnes graves sint in planetam quemvis *B*, & gravitas partis cujuscque sit ad gravitatem totius, ut materia partis ad materiam totius, & actioni omni reactio (per motus legem tertiam) æqualis sit; planeta *B* in partes omnes planetæ *A* vicissim gravitabit, & erit gravitas sua in partem unamquamque ad gravitatem suam in totum, ut materia partis ad materiam totius. Q. E. D.

*Corol. 1.* Oritur igitur & componitur gravitas in planetam totum ex gravitate in partes singulas. Cujus rei exempla habemus in attractionibus magneticis & electricis. Oritur enim attractio omnis in totum ex attractionibus in partes singulas. Res intelligetur in gravitate, concipiendo planetas plures minores in unum globum coire & planetam majorem componere. Nam vis totius ex viribus partium componentium oriri debet. Siquis objiciat quod corpora omnia, quæ apud nos sunt, hac lege gravitare deberent in se mutuo, cum tamen ejusmodi gravitas neutiquam sentiatur: respondeo quod

F f f 2

gravitas



gravitas in hæc corpora, cum sit ad gravitatem in terram totam ut sunt hæc corpora ad terram totam, longe minor est quam quæ senti possit.

*Corol. 2.* Gravitatio in singulas corporis particulas æquales est reciproce ut quadratum distantiae locorum a particulis. Patet per corol 3. prop. LXXIV. lib. 1.

## PROPOSITIO VIII. THEOREMA VIII.

*Si globorum duorum in se mutuo gravitantium materia undique in regionibus, quæ a centrīs æqualiter distant, homogēnea sit: erit pondus globi alterutrius in alterum reciproce ut quadratum distantiae inter centra.*

Postquam invenissem gravitatem in planetam totum oriri & componi ex gravitatibus in partes; & esse in partes singulas reciproce proportionalem quadratis distantiarum a partibus: dubitabam an reciproca illa proportio duplicata obtineret accurate in vi tota ex viribus pluribus composita, an vero quam proxime. Nam fieri posset ut proportio, quæ in majoribus distantis satis accurate obtineret, prope superficiem planetæ ob inæquales particularum distantias & situs dissimiles, notabiliter erraret. Tandem vero, per prop. LXXV. & LXXVI. libri primi & ipsarum corollaria, intellexi veritatem propositionis de qua hic agitur.

*Corol. 1.* Hinc inveniri & inter se comparari possunt pondera corporum in diversos planetas. Nam pondera corporum æqualium circum planetas in circulis revolvantium sunt (per corol. 2. prop. IV. lib. 1.) ut diametri circulorum directe & quadrata temporum periodicorum inverse; & pondera ad superficies planetarum, aliasve quasvis a centro distantias, majora sunt vel minora (per hanc propositionem) in duplicata ratione distantiarum inversa. Sic ex temporibus periodicis veneris circum solem dierum 224. & horarum 16 $\frac{2}{3}$ , satellitis extimi circumjovialis circum jovem dierum 16 & horarum 16 $\frac{2}{3}$ , satellitis Hugeniani circum saturnum dierum 15 & horarum 22 $\frac{2}{3}$ , & lunæ circum terram dierum 27. hor. 7. min. 43, collatis cum distantia mediocri veneris a sole & cum elongationibus maximis heliocentricis satellitis extimi circumjovialis a centro jovis 8'. 16". satellitis Hugeniani

Hugeniani a centro saturni 3'. 4". & lunæ a centro terræ 10'. 33". computum ineundo inveni quod corporum æqualium & a centro solis, jovis, saturni ac terræ æqualiter distantium pondera sint in solem, jovem, saturnum ac terram ut 1, 1000, 997, & 109 respective, & auctis vel diminutis distantis, pondera diminuuntur vel augentur in duplicata ratione: pondera æqualium corporum in solem, jovem, saturnum ac terram in distantis 10000, 997, 791, & 109 ab eorum centrīs, atque ideo in eorum superficiebus, erunt ut 10000, 943, 529, & 435 respective. Quanta sint pondera corporum in superficie lunæ dicetur in sequentibus.

*Corol. 2.* Innotescit etiam quantitas materiæ in planetis singulis. Nam quantitates materiæ in planetis sunt ut eorum vires in æqualibus distantis ab eorum centrīs, id est, in sole, jove, saturno ac terra sunt ut 1, 1000, 997, & 109 respective. Si parallaxis solis statueretur major vel minor quam 10". 30", debet quantitas materiæ in terra augeri vel diminui in triplicata ratione.

*Corol. 3.* Innotescunt etiam densitates planetarum. Nam pondera corporum æqualium & homogēnorum in sphaeras homogēneas sunt in superficiebus sphaerarum ut sphaerarum diametri, per prop. LXXII. lib. 1. ideoque sphaerarum heterogēnearum densitates sunt ut pondera illa applicata ad sphaerarum diametros. Erant autem veræ solis, jovis, saturni ac terræ diametri ad invicem ut 10000, 997, 791, & 109, & pondera in eisdem ut 10000, 943, 529 & 435 respective, & propterea densitates sunt ut 100, 94 $\frac{1}{2}$ , 67 & 400. Densitas terræ quæ prodit ex hoc computo non pendet a parallaxi solis, sed determinatur per parallaxin lunæ, & propterea hic recte definitur. Est igitur sol paulo densior quam jupiter, & jupiter quam saturnus, & terra quadruplo densior quam sol. Nam per ingentem suum calorem sol rarefcit. Luna vero densior est quam terra, ut in sequentibus patebit.

*Corol. 4.* Densiores igitur sunt planetæ qui sunt minores, cæteris paribus. Sic enim vis gravitatis in eorum superficiebus ad æqualitatem magis accedit. Sed & densiores sunt planetæ, cæteris paribus, qui sunt soli propiores; ut jupiter saturno, & terra jove. In diversis utique distantis a sole collocandi erant planetæ ut quilibet pro gradu densitatis calore solis majore vel minore frueretur. Aqua nostra, si terra locaretur in orbe saturni, rigesceret, si in orbe mercurii



curii in vapores statim abiret. Nam lux solis, cui calor proportiona-  
lis est, septuplo densior est in orbe mercurii quam apud nos: &  
thermometro expertus sum quod septuplo solis æstivi calore aqua  
ebullit. Dubium vero non est quin materia mercurii ad calorem  
accommodetur, & propterea densior sit hac nostra; cum materia  
omnis densior ad operationes naturales obeundas majorem calorem  
requirat.

## PROPOSITIO IX. THEOREMA IX.

*Gravitatem pergendo a superficiebus planetarum deorsum de-  
crescere in ratione distantiarum a centro quam proxime.*

Si materia planetæ quoad densitatem uniformis esset, obtineret  
hæc propositio accurate: per prop. LXXIII. lib. I. Error igitur tan-  
tus est, quantus ab inæquabili densitate oriri possit.

## PROPOSITIO X. THEOREMA X.

*Motus planetarum in coelis diutissime conservari posse.*

In scholio propositionis XL. lib. II. ostensum est quod globus a-  
quæ congelatæ, in aëre nostro libere movendo & longitudinem se-  
midiametri suæ describendo, ex resistentia aëris amitteret motus sui  
partem  $\frac{7}{1000}$ . Obtinet autem eadem proportio quam proxime in  
globis utcunque magnis & velocibus. Jam vero globum terræ no-  
stræ densiorem esse, quam si totus ex aqua constaret, sic colligo. Si  
globus hicce totus esset aqueus, quæcunque rariora essent quam a-  
qua, ob minorem specificam gravitatem emergerent & supernata-  
rent. Eaque de causa globus terreus aquis undique coopertus, si ra-  
rior esset quam aqua, emergeret alicubi, & aqua omnis inde deflu-  
ens congregaretur in regione opposita. Et par est ratio terræ no-  
stræ maribus magna ex parte circumdatæ. Hæc si densior non ef-  
fet, emergeret ex maribus, & parte sui pro gradu levitatis extaret  
ex aqua, maribus omnibus in regionem oppositam confluentibus.  
Eodem argumento maculæ solares leviores sunt quam materia luci-  
da solaris cui supernatant. Et in formatione qualicunque planeta-  
rum, ex aqua materia omnis gravior, quo tempore massa fluida erat,  
centrum

centrum petebat. Unde cum terra communis suprema quasi duplo  
gravior sit quam aqua, & paulo inferius in fodinis quasi triplo vel  
quadruplo aut etiam quintuplo gravior reperiatur: verisimile est  
quod copia materiæ totius in terra quasi quintuplo vel sextuplo ma-  
ior sit quam si tota ex aqua constaret; præsertim cum terram quasi  
quadruplo densiorem esse quam jovem jam ante ostensum sit. Qua-  
re si jupiter paulo densior sit quam aqua, hic spatio dierum trigin-  
ta, quibus longitudinem 459 semidiametrorum suarum describit, a-  
mitteret in medio ejusdem densitatis cum aëre nostro motus sui par-  
tem fere decimam. Verum cum resistentia mediorum minuatur in  
ratione ponderis ac densitatis, sic ut aqua, quæ partibus 13 $\frac{1}{2}$  levior  
est quam argentum vivum, minus resistat in eadem ratione; & aer,  
qui partibus 860 levior est quam aqua, minus resistat in eadem ra-  
tione: si ascendatur in coelos ubi pondus medii, in quo planetæ mo-  
ventur, diminuitur in immensum, resistentia prope cessabit. Osten-  
dimus utique in scholio ad prop. XXI. lib. II. quod si ascenderetur  
ad altitudinem milliarium ducentorum supra terram, aër ibi rarior  
foret quam ad superficiem terræ in ratione 30 ad 0,0000000000003998,  
seu 7500000000000 ad 1 circiter. Et hinc stella jovis in medio e-  
jusdem densitatis cum aëre illo superiore revolvendo, tempore an-  
norum 1000000, ex resistentia medii non amitteret motus sui partem  
decimam centesimam millesimam. In spatiis utique terræ proximis,  
nihil invenitur quod resistentiam creet præter aërem exhalationes &  
vapores. His ex vitro cavo cylindrico diligentissime exhaustis gra-  
via intra vitrum liberrime & sine omni resistentia sensibili cadunt;  
ipsum aurum & pluma tenuissima simul demissa æquali cum veloci-  
tate cadunt, & casu suo describendo altitudinem pedum quatuor sex  
vel octo simul incidunt in fundum, ut experientia compertum est.  
Et propterea si in coelos ascendatur aëre & exhalationibus vacuos,  
planetæ & cometæ sine omni resistentia sensibili per spatia illa diu-  
tissime movebuntur.

HYPO.



## HYPOTHESIS I.

*Centrum systematis mundani quiescere.*

Hoc ab omnibus concessum est, dum aliqui terram, alii solem in centro systematis quiescere contendunt. Videamus quid inæsequatur.

## PROPOSITIO XI. THEOREMA XI.

*Commune centrum gravitatis terræ, solis & planetarum omnium quiescere.*

Nam centrum illud (per legum corol. iv.) vel quiescet vel progredietur uniformiter in directum. Sed centro illo semper progrediente, centrum mundi quoque movebitur contra hypothesein.

## PROPOSITIO XII. THEOREMA XII.

*Solem motu perpetuo agitari, sed nunquam longe recedere a communi gravitatis centro planetarum omnium.*

Nam cum (per corol. 2. prop. viii.) materia in sole sit ad materiam in jove ut 1067 ad 1, & distantia jovis a sole sit ad semidiametrum solis in ratione paulo majore; incidet commune centrum gravitatis jovis & solis in punctum paulo supra superficiem solis. Eodem argumento cum materia in sole sit ad materiam in saturno ut 3021 ad 1, & distantia saturni a sole sit ad semidiametrum solis in ratione paulo minore: incidet commune centrum gravitatis saturni & solis in punctum paulo infra superficiem solis. Et ejusdem calculi vestigiis insistendo si terra & planetæ omnes ex una solis parte consisterent, commune omnium centrum gravitatis vix integra solis diametro a centro solis distaret. Aliis in casibus distantia centrorum semper minor est. Et propterea cum centrum illud gravitatis perpetuo quiescit, sol pro vario planetarum situ in omnes partes movebitur, sed a centro illo nunquam longe recedet.

*Corol.* Hinc commune gravitatis centrum terræ, solis & planetarum omnium pro centro mundi habendum est. Nam cum terra,

sol

sol & planetæ omnes gravitent in se mutuo, & propterea, pro vi gravitatis suæ, secundum leges motus perpetuo agitentur: perspicuum est quod horum centra mobilia pro mundi centro quiescente haberi nequeunt. Si corpus illud in centro locandum esset in quod corpora omnia maxime gravitant (uti vulgi est opinio) privilegium illud concedendum esset soli. Cum autem sol moveatur, eligendum erit punctum quiescens, a quo centrum solis quam minime discedit, & a quo idem adhuc minus discederet, si modo sol densior esset & major, ut minus moveretur.

## PROPOSITIO XIII. THEOREMA XIII.

*Planetæ moventur in ellipsis umbilicum habentibus in centro solis, & radiis ad centrum illud ductis areas describunt temporibus proportionales.*

Disputavimus supra de his motibus ex phænomenis. Jam cognitis motuum principiis, ex his colligimus motus cœlestes a priori. Quoniam pondera planetarum in solem sunt reciproce ut quadrata distantiarum a centro solis; si sol quiesceret & planetæ reliqui non agerent in se mutuo, forent orbes eorum elliptici, solem in umbilico communi habentes, & areæ describerentur temporibus proportionales (per prop. i. & xi. & corol. i. prop. xiiii. lib. i.) actiones autem planetarum in se mutuo perexiguæ sunt (ut possint contemni) & motus planetarum in ellipsis circa solem mobilem minus perturbant (per prop. lxxvi. lib. i.) quam si motus isti circa solem quiescentem peragerentur.

Actio quidem jovis in saturnum non est omnino contemnenda. Nam gravitas in jovem est ad gravitatem in solem (paribus distantis) ut 1 ad 1067; ideoque in conjunctione jovis & saturni, quoniam distantia saturni a jove est ad distantiam saturni a sole fere ut 4 ad 9, erit gravitas saturni in jovem ad gravitatem saturni in solem ut 81 ad 16 x 1067 seu 1 ad 211 circiter. Et hinc oritur perturbatio orbis saturni in singulis planetæ hujus cum jove conjunctionibus adeo sensibilis ut ad eandem astronomi hæreant. Pro vario situ planetæ in his conjunctionibus, eccentricitas ejus nunc augetur nunc diminuitur, aphelium nunc promovetur nunc forte retrahitur, & medius

G g g

motus



motus per vices acceleratur & retardatur. Error tamen omnis in motu ejus circum solem a tanta vi oriundus (præterquam in motu medio) evitari fere potest constituendo umbilicum inferiorem orbis ejus in communi centro gravitatis jovis & solis (per prop. LXVII. lib. I.) & propterea ubi maximus est, vix superat minuta duo prima. Et error maximus in motu medio vix superat minuta duo prima annuatim. In conjunctione autem jovis & saturni gravitates acceleratrices solis in saturnum, jovis in saturnum & jovis in solem sunt fere ut 16, 81 &  $\frac{16 \times 81 \times 3021}{25}$  seu 156609, ideoque differentia

gravitatum solis in saturnum & jovis in saturnum est ad gravitatem jovis in solem ut 65 ad 156609 seu 1 ad 2409. Huic autem differentie proportionalis est maxima saturni efficacia ad perturbandum motum jovis, & propterea perturbatio orbis jovialis longe minor est quam ea saturnii. Reliquorum orbium perturbaciones sunt adhuc longe minores, præterquam quod orbis terræ sensibilibiter perturbatur a luna. Commune centrum gravitatis terræ & lunæ, ellipsin circum solem in umbilico positum percurrit, & radio ad solem ducto areas in eadem temporibus proportionales describit, terra vero circum hoc centrum commune motu mensuræ revolvitur.

## PROPOSITIO XIV. THEOREMA XIV.

*Orbium aphelia & nodi quiescunt.*

Aphelia quiescunt, per prop. XI. lib. I. ut & orbium plana, per ejusdem libri prop. I. & quiescentibus planis quiescunt nodi. At tamen a planetarum revolvantium & cometarum actionibus in se invicem orientur inæqualitates aliquæ, sed quæ ob parvitatem hic contemni possunt.

*Corol. 1.* Quiescunt etiam stellæ fixæ, propterea quod datas ad aphelia nodosque positiones servant.

*Corol. 2.* Ideoque cum nulla sit earum parallaxis sensibilis ex terræ motu annuo oriunda, vires earum ob immensam corporum distantiam nullos edent sensibiles effectus in regione systematis nostri. Quinimo fixæ in omnes cœli partes æqualiter dispersæ contrariis attractionibus vires mutuas destruunt, per prop. LXX. lib. I.

*Scholium.*

*Scholium.*

Cum planetæ soli propiores (nempe mercurius, venus, terra, & mars) ob corporum parvitatem parum agant in se invicem: horum aphelia & nodi quiescent, nisi quatenus a viribus jovis, saturni & corporum superiorum turbentur. Et inde colligi potest per theoriam gravitatis, quod horum aphelia moventur aliquantulum in consequentia respectu fixarum, idque in proportionem sesquiplicata distantiarum horum planetarum a sole. Ut si aphelium martis in annis centum conficiat 33'. 20" in consequentia respectu fixarum; aphelia terræ, veneris, & mercurii in annis centum conficient 17'. 40", 10'. 53", & 4'. 16" respective. Et hi motus, ob parvitatem, negliguntur in hac propositione.

## PROPOSITIO XV. PROBLEMA I.

*Invenire orbium principales diametros.*

Capiendæ sunt hæ in ratione subsesquiplicata temporum periodicorum, per prop. XV. lib. I. deinde sigillatim augendæ in ratione summæ massarum solis & planetæ cujusque revolvantis ad primam duarum medie proportionalium inter summam illam & solem, per prop. LX. lib. I.

## PROPOSITIO XVI. PROBLEMA II.

*Invenire orbium eccentricitates & aphelia.*

Problema confit per prop. XVIII. lib. I.

## PROPOSITIO XVII. THEOREMA XV.

*Planetarum motus diurnos uniformes esse, & librationem lunæ ex ipsius motu diurno oriri.*

Patet per motus legem I. & corol. 22. prop. LXVI. lib. I. Jupiter utique respectu fixarum revolvitur horis 9. 56', mars horis 24. 39', venus horis 23 circiter, terra horis 23. 56', sol diebus 25½ & luna diebus 27. 7 hor. 43'. Hæc ita se habere ex phænomenis manifestum est. Maculæ in corpore solis ad eundem situm in disco solis redeunt diebus 27½ circiter, respectu terræ; ideoque respectu fixarum sol revolvitur diebus 25½ circiter. Quoniam vero lunæ circa

G g g 2

axem



axem suum uniformiter revolventis dies menstruus est: hujus facies eadem ulteriorem umbilicum orbis ejus semper respiciet quam proximè, & propterea pro situ umbilici illius deviat hinc inde a terra. Hæc est libratio lunæ in longitudinem: Nam libratio in latitudinem orta est ex latitudine lunæ & inclinatione axis ejus ad planum eclipticæ. Hanc librationis lunaris theoriam D. N. Mercator in astronomia sua initio anni 1676 edita, ex literis meis plenius exposuit. Simili motu extimus saturni satelles circa axem suum revolvitur, eadem sui facie saturnum perpetuo respiciens. Nam circum saturnum revolvendo, quoties ad orbis sui partem orientalem accedit, ægerrime videtur, & plerumque videri cessat: id quod evenire potest per maculas quasdam in ea corporis parte quæ terræ tunc obvertitur, ut Cassinus notavit. Simili etiam motu satelles extimus jovialis circa axem suum revolvitur, propterea quod in parte corporis jovi averfa maculam habeat quæ tanquam in corpore jovis cernitur ubicunque satelles inter jovem & oculos nostros transit.

## PROPOSITIO XVIII. THEOREMA XVI.

*Axes planetarum diametris quæ ad eosdem axes normaliter ducuntur minores esse.*

Planetæ sublato omni motu circulari diurno figuram sphericam, ob æqualem undique partium gravitatem, affectare deberent. Per motum illum circulem fit ut partes ab axe recedentes juxta æquatorem ascendere conentur. Ideoque materia si fluida sit ascensu suo ad æquatorem diametros adaugebit, axem vero descensu suo ad polos diminuet. Sic jovis diameter (consentientibus astronomorum observationibus) brevior deprehenditur inter polos quam ab oriente in occidentem. Eodem argumento, nisi terra nostra paulo altior esset sub æquatore quam ad polos, maria ad polos sublident, & juxta æquatorem ascendendo, ibi omnia inundarent.

## PROPOSITIO XIX. PROBLEMA III.

*Invenire proportionem axis planetæ ad diametros eidem perpendicularares.*

Norwoodus noster circa annum 1635 mensurando distantiam pedum Londi-

Londinensium 905751 inter *Londinum* & *Eboracum*, & observando differentiam latitudinum 2 gr. 28' collegit mensuram gradus unius esse pedum Londinensium 367196, id est, hexapedarum Parisiensium 57300.

*Picartus* mensurando arcum gradus unius & 22'. 55" in meridiano inter *Ambianum* & *Matvoisinam*, invenit arcum gradus unius esse hexapedarum Parisiensium 57060. *Cassinus* senior mensuravit distantiam in meridiano a villa *Collioure* in *Roussillon* ad observatorium Parisiense; & filius ejus addidit distantiam ab observatorio ad turrem urbis *Dunkirk*. Distantia tota erat hexapedarum 486156, & differentia latitudinum villæ *Collioure* & urbis *Dunkirk* erat graduum octo & 31'. 11". Unde arcus gradus unius prodit hexapedarum Parisiensium 57061. Et ex his mensuris colligitur ambitus terræ pedum Parisiensium 123249600, & semidiameter ejus pedum 19615800, ex hypothesi quod terra sit spherica.

In latitudine *Lutetiæ Parisiorum* corpus grave tempore minuti unius secundi cadendo describit pedes Parisienses 15 dig. 1 lin. 1 $\frac{1}{2}$  ut supra, id est, lineas 2173 $\frac{1}{2}$ . Pondus corporis diminuitur per pondus aëris ambientis. Ponamus pondus amissum esse partem undecimam millesimam ponderis totius, & corpus illud grave cadendo in vacuo describet altitudinem linearum 2174 tempore minuti unius secundi.

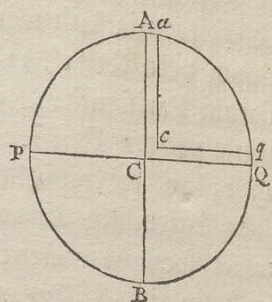
Corpus in circulo ad distantiam pedum 19615800 a centro, singulis diebus sideris horarum 23. 56'. 4" uniformiter revolvens tempore minuti unius secundi describet arcum pedum 1433.46, cujus sinus versus est pedum 0,0523656, seu linearum 7,54064. Ideoque vis, qua gravia descendunt in latitudine *Lutetiæ*, est ad vim centrifugam corporum in æquatore a terræ motu diurno oriundam, ut 2174 ad 7,54064.

Vis centrifuga corporum in æquatore terræ est ad vim centrifugam, qua corpora directe tendunt a terra in latitudine *Lutetiæ* graduum 48. 50'. 10", in duplicata ratione radii ad sinum complementi latitudinis illius, id est, ut 7,54064 ad 3,267. Addatur hæc vis ad vim qua gravia descendunt in latitudine illa *Lutetiæ*, & corpus in latitudine illa vi tota gravitatis cadendo, tempore minuti unius secundi describet lineas 2177,267, seu pedes Parisienses 15 dig. 1 & lin. 5,267. Et vis tota gravitatis in latitudine illa erit ad vim centri-



centrifugam corporum in æquatore terræ ut 2177,267 ad 754064  
feu 289 ad 1.

Unde si *APBQ* figuram terræ designet jam non amplius sphaericam sed revolutione ellipseos circum axem minorem *PQ* genitam, sitque *ACQca* canalis aquæ plena, a polo *Qq* ad centrum *Cc*, & inde ad æquatorem *Aa* pergens: debet pondus aquæ in canalis crure *ACca*, esse ad pondus aquæ in crure altero *QcCq* ut 289 ad 288, eo quod vis centrifuga ex circulari motu orta partem unam e ponderis partibus 289 sustinebit ac detrahet, & pondus 288 in altero crure sustinebit reliquas. Porro (ex propositionis xci. corol. 2. lib. 1.) computationem ineundo, invenio quod si terra constaret ex uniformi materia, motuque omni privaretur, & esset ejus axis *PQ* ad diametrum *AB* ut 100 ad 101: gravitas in loco *Q* in terram foret ad gravitatem in eodem loco *Q* in sphaeram centro *C* radio *PC* vel *QC* descriptam, ut 126 ad 125. Et eodem argumento gravitas in loco *A* in sphaeroidem, convolutione ellipseos *APBQ* circa axem *AB* descriptam, est ad gravitatem in eodem loco *A* in sphaeram centro *C* radio *AC* descriptam, ut 125 ad 126. Est autem gravitas in loco *A* in terram media proportionalis inter gravitates in dictam sphaeroidem & sphaeram: propterea quod sphaera, diminuendo diametrum *PQ* in ratione 101 ad 100, vertitur in figuram terræ; & hæc figura diminuendo in eadem ratione diametrum tertiam, quæ diametris duabus *AB*, *PQ* perpendicularis est, vertitur in dictam sphaeroidem; & gravitas in *A*, in casu utroque, diminuitur in eadem ratione quam proxime. Est igitur gravitas in *A* in sphaeram centro *C* radio *AC* descriptam, ad gravitatem in *A* in terram ut 126 ad 125½, & gravitas in loco *Q* in sphaeram centro *C* radio *QC* descriptam, est ad gravitatem in loco *A* in sphaeram centro *C* radio *AC* descriptam, in ratione diametrorum (per prop. LXXII. lib. 1.) id est, ut 100 ad 101. Conjungantur jam hæ tres rationes, 126 ad 125, 126 ad 125½, & 100 ad 101: & fiet gravitas in loco *Q* in terram ad gravitatem in loco *A* in terram, ut 126 × 126 × 100 ad 125 × 125½ × 101, seu ut 501 ad 500.



Jam

Jam cum (per corol. 3. prop. xci. lib. 1.) gravitas in canalis crure utrovis *ACca* vel *QcCq* sit ut distantia locorum a centro terræ; si crura illa superficiebus transversis & æquidistantibus distinguantur in partes totis proportionales, erunt pondera partium singularum in crure *ACca* ad pondera partium totidem in crure altero, ut magnitudines & gravitates acceleratrices conjunctim; id est, ut 101 ad 100 & 500 ad 501, hoc est, ut 505 ad 501. Ac proinde si vis centrifuga partis cujusque in crure *ACca* ex motu diurno oriunda, fuisset ad pondus partis ejusdem ut 4 ad 505, eo ut de pondere partis cujusque, in partes 505 diviso, partes quatuor detraheret; manerent pondera in utroque crure æqualia, & propterea fluidum conssisteret in æquilibrio. Verum vis centrifuga partis cujusque est ad pondus ejusdem ut 1 ad 289, hoc est, vis centrifuga quæ deberet esse ponderis pars 1/289 est tantum pars 1/505. Et propterea dico, secundum regulam auream, quod si vis centrifuga 1/505 faciat ut altitudo aquæ in crure *ACca* superet altitudinem aquæ in crure *QcCq* parte centesima totius altitudinis: vis centrifuga 1/505 faciet ut excessus altitudinis in crure *ACca* sit altitudinis in crure altero *QcCq* pars tantum 1/505. Est igitur diameter terræ secundum æquatorem ad ipsius diametrum per polos ut 230 ad 229. Ideoque cum terræ semidiameter mediocris, juxta mensuram *Picarti*, sit pedum Parisiensium 19615800, seu milliarium 3923,16 (posito quod milliare sit mensura pedum 5000) terra altior erit ad æquatorem quam ad polos excessu pedum 85472, seu milliarum 17½. Et altitudo ejus ad æquatorem erit 19658600 pedum circiter, & ad polos 19573000 pedum.

Si planeta major sit vel minor quam terra manente ejus densitate ac tempore periodico revolutionis diurnæ, manebit proportio vis centrifugæ ad gravitatem, & propterea manebit etiam proportio diametri inter polos ad diametrum secundum æquatorem. At si motus diurnus in ratione quacunque acceleretur vel retardetur, augebitur vel minuetur vis centrifuga in duplicata illa ratione, & propterea differentia diametrorum augebitur vel minuetur in eadem duplicata ratione quamproxime. Et si densitas planetæ augeatur vel minuat in ratione quavis, gravitas etiam in ipsum tendens augebitur vel minuetur in eadem ratione, & differentia diametrorum vicissim minuetur in ratione gravitatis auctæ vel augebitur in ratione gravitatis.



gravitatis diminutæ. Unde cum terra respectu fixarum revolvatur horis 23. 56', jupiter autem horis 9. 56', sintque temporum quadrata ut 29 ad 5, & revolvantium densitates ut 400 ad 94½: differentia diametrorum jovis erit ad ipsius diametrum minorem ut  $\frac{29}{5} \times \frac{400}{94\frac{1}{2}}$

$\times \frac{1}{229}$  ad 1, seu 1 ad 9½ quamproxime. Est igitur diameter jovis ab oriente in occidentem ducta, ad ejus diametrum inter polos ut 10½ ad 9½ quamproxime. Unde cum ejus diameter major sit 37'', ejus diameter minor quæ polis interjacet, erit 33''. 25'''. Pro luce erratica addantur 3'' circiter, & hujus planetæ diametri apparentes evadent 40'' & 36''. 25''': quæ sunt ad invicem ut 11½ ad 10½ quamproxime. Hoc ita se habet ex hypothesi quod corpus jovis sit uniformiter densum. At si corpus ejus sit densius versus planum æquatoris quam versus polos, diametri ejus possunt esse ad invicem ut 12 ad 11, vel 13 ad 12, vel forte 14 ad 13. Et *Cassinus* quidem anno 1691 observavit, quod jovis diameter ab oriente in occidentem porrecta diametrum alteram superaret parte sui circiter decima quinta. *Powndus* autem noster telescopio pedum 123 longitudinis & optimo micrometro, diametros jovis anno 1719, mensuravit ut sequitur.

Tempora.		Diam. max.	Diam. min.	Diametri ad invicem.	
dies	hor.	part.	part.	ut	ad
Jan. 28	6	13,40	12,28	ut 12	ad 11
Mar. 6	7	13,12	12,20	13½	12½
Mar. 9	7	13,12	12,08	12½	11½
Apr. 9	9	12,32	11,48	14½	13½

Congruit igitur theoria cum phænomenis. Nam planetæ magis incallescunt ad lucem solis versus æquatores suos, & propterea paulo magis ibi decoquantur quam versus polos.

Quinetiam gravitatem per rotationem diurnam terræ nostræ minui sub æquatore, atque ideo terram ibi altius surgere quam ad polos (si materia ejus uniformiter densa sit) patebit per experimenta pendulorum quæ recensentur in propositione sequente.

PROPO.

## PROPOSITIO XX. PROBLEMA IV.

LIBER  
TERTIUS.

*Invenire & inter se comparare pondera corporum in terræ hujus regionibus diversis.*

Quoniam pondera inæqualium crurum canalis aqueæ *ACQga* æqualia sunt; & pondera partium, cruribus totis proportionalium & similiter in totis sitarum, sunt ad invicem ut pondera totorum, ideoque etiam æquantur inter se; erunt pondera æqualium & in cruribus similiter sitarum partium reciproce ut crura, id est, reciproce ut 230 ad 229. Et par est ratio homogeneorum & æqualium quorumvis & in canalis cruribus similiter sitorum corporum. Horum pondera sunt reciproce ut crura, id est, reciproce ut distantia corporum a centro terræ. Proinde si corpora in supremis canalium partibus, sive in superficie terræ consistant; erunt pondera eorum ad invicem reciproce ut distantia eorum a centro. Et eodem argumento pondera, in aliis quibuscunque per totam terræ superficiem regionibus, sunt reciproce ut distantia locorum a centro; & propterea, ex hypothesi quod terra sphaeroidis sit, dantur proportione.

Unde tale confit theorema, quod incrementum ponderis pergendo ab æquatore ad polos, sit quam proxime ut sinus versus latitudinis duplicata, vel quod perinde est, ut quadratum sinus recti latitudinis. Et in eadem circiter ratione augentur arcus graduum latitudinis in meridiano. Ideoque cum latitudo *Lutetiæ Parisiorum* sit 48°. 50', ea locorum sub æquatore 00°. 00', & ea locorum ad polos 90°. & duplorum sinus versi sint 11334, 00000 & 20000, existente radio 10000, & gravitas ad polum sit ad gravitatem sub æquatore ut 230 ad 229, & excessus gravitatis ad polum ad gravitatem sub æquatore ut 1 ad 229: erit excessus gravitatis in latitudine *Lutetiæ* ad gravitatem sub æquatore, ut  $1 \times \frac{11334}{2290000}$  ad 229, seu 5667 ad 2290000. Et propterea gravitates totæ in his locis erunt ad invicem ut 2295667 ad 2290000. Quare cum longitudines pendulorum æqualibus temporibus oscillantium sint ut gravitates, & in latitudine *Lutetiæ Parisiorum* longitudo penduli singulis minutis secundis oscillantis sit pedum trium Parisiensium & linearum 8½, vel potius ob pondus aëris 8½: longitudo penduli sub æquatore superabitur a longitudine synchroni penduli Parisiensis, excessu lineæ unius & 87 partium millesimarum lineæ. Et simili computo confit tabula sequens.

H h h

Latitudo



PHILOSOPHIÆ NATURALIS

Latitudo loci.	Longitudo penduli.		Mensura gradus uni- us in meridiano.
grad.	ped.	lin.	hexapeda.
0	3	7,468	56637
5	3	7,482	56642
10	3	7,526	56659
15	3	7,596	56687
20	3	7,692	56724
25	3	7,812	56769
30	3	7,948	56823
35	3	8,099	56882
40	3	8,261	56945
1	3	8,294	56958
2	3	8,327	56971
3	3	8,361	56984
4	3	8,394	56997
45	3	8,428	57010
6	3	8,461	57022
7	3	8,494	57035
8	3	8,528	57048
9	3	8,561	57061
50	3	8,594	57074
55	3	8,756	57137
60	3	8,907	57196
65	3	9,044	57250
70	3	9,162	57295
75	3	9,258	57332
80	3	9,329	57360
85	3	9,372	57377
90	3	9,387	57382

Constat autem per hanc tabulam quod graduum inæqualitas tam parva sit, ut in rebus geographicis figura terræ pro spherica haberi possit: præsertim si terra paulo densior sit versus planum æquatoris quam versus polos.

Jam vero astronomi aliqui in longinquas regiones ad observationes astronomicas faciendas missi, observarunt quod horologia oscillatoria tardius moverentur prope æquatorem quam in regionibus nostris. Et primo quidem D. Richer hoc observavit anno 1672 in insula Cayenne. Nam dum observaret transitum fixarum per meridianum mense

PRINCIPIA MATHEMATICA. 419

LIBER  
TERTIUS.

mensē Augusto, reperit horologium suum tardius moveri quam pro medio motu solis, existente differentia 2'. 28" singulis diebus. Deinde faciendo ut pendulum simplex ad minuta singula secunda per horologium optimum mensurata oscillaret, notavit longitudinem penduli simplicis, & hoc fecit sæpius singulis septimanis per menses decem. Tum in Galliam redux contulit longitudinem hujus penduli cum longitudine penduli Parisiensis (quæ erat trium pedum Parisiensium, & octo linearum cum tribus quintis partibus lineæ) & reperit breviorē esse, existente differentia lineæ unius cum quadrante.

Postea Hallesius noster circa annum 1677 ad insulam Sanctæ Helene navigans, reperit horologium suum oscillatorium ibi tardius moveri quam Londini, sed differentiam non notavit. Pendulum vero brevius reddidit plusquam octava parte digiti, seu linea una cum semisse. Et ad hoc efficiendum, cum longitudo cochleæ in ima parte penduli non sufficeret, annulum ligneum thecæ cochleæ & ponderi pendulo interposuit.

Deinde anno 1682 D. Varin & D. Des Hayes invenerunt longitudinem penduli singulis minutis secundis oscillantis in observatorio regio Parisiensis esse ped. 3. lin. 8½. Et in insula Gorea eadem methodo longitudinem penduli synchroni invenerunt esse ped. 3. lin. 6½, existente longitudinum differentia lin. 2. Et eodem anno ad insulas Guadaloupam & Martinicam navigantes, invenerunt longitudinem penduli synchroni in his insulis esse ped. 3. lin. 6½.

Posthac D. Couplet filius anno 1697 mense Julio, horologium suum oscillatorium ad motum solis medium in observatorio regio Parisiensis sic aptavit, ut tempore satis longo horologium cum motu solis congrueret. Deinde Ussipponem navigans invenit quod mense Novembri proximo horologium tardius iret quam prius, existente differentia 2'. 13" in horis 24. Et mense Martio sequente Parai- bam navigans invenit ibi horologium suum tardius ire quam Parisiis, existente differentia 4'. 12" in horis 24. Et affirmat pendulum ad minuta secunda oscillans brevius fuisse Ussipponi lineis 2½ & Parai- bæ lineis 3½ quam Parisiis. Rectius posuisset differentias esse 1½ & 2½. Nam hæ differentiæ differentiis temporum 2'. 13", & 4'. 12" respondent. Crassioribus hujus observationibus minus fiden- dum est.

H h h 2

Annis



Annis proximis (1699 & 1700) D. *Des Hayes* ad *Americam* denuo navigans, determinavit quod in insulis *Cayennæ* & *Granadæ* longitudo penduli ad minuta secunda oscillantis, esset paulo minor quam ped. 3. lin. 6 $\frac{1}{2}$ , quodque in insula *S. Christophori* longitudo illa esset ped. 3. lin. 6 $\frac{1}{2}$ , & quod in insula *S. Dominici* eadem esset ped. 3. lin. 7.

Annoque 1704. P. *Feuillée* invenit in *Porto-belo* in *America* longitudinem penduli ad minuta secunda oscillantis, esse pedum trium Parisiensium & linearum tantum 5 $\frac{1}{2}$ , id est, tribus fere lineis breviorum quam *Lutetia Parisiorum*, sed errante observatione. Nam deinde ad insulam *Martinicam* navigans, invenit longitudinem penduli isochroni esse pedum tantum trium Parisiensium & linearum 5 $\frac{1}{2}$ .

Latitudo autem *Paraibæ* est 6 $^{\circ}$ . 38' ad austrum, & ea *Porto belii* 9 $^{\circ}$ . 33' ad boream, & latitudines insularum *Cayennæ*, *Goreæ*, *Guadaloupe*, *Martinicæ*, *Granadæ*, *Sancti Christophori*, & *Sancti Dominici* sunt respective 4 $^{\circ}$ . 55', 14 $^{\circ}$ . 40', 14 $^{\circ}$ . 00', 14 $^{\circ}$ . 44', 12 $^{\circ}$ . 6', 17 $^{\circ}$ . 19', & 19 $^{\circ}$ . 48' ad boream. Et excessus longitudinis penduli Parisiensis supra longitudines pendulorum isochronorum in his latitudinibus observatas sunt paulo majores quam pro tabula longitudinum penduli superius computata. Et propterea terra aliquanto altior est sub æquatore quam pro superiore calculo, & densior ad centrum quam in fodinis prope superficiem, nisi forte calores in zona torrida longitudinem pendulorum aliquantulum auxerint.

Observavit utique D. *Picartus* quod virga ferrea, quæ tempore hyberno ubi gelabant frigora erat pedis unius longitudine, ad ignem calefacta evasit pedis unius cum quarta parte lineæ. Deinde D. *de la Hire* observavit quod virga ferrea quæ tempore consimili hyberno sex erat pedum longitudinis, ubi soli æstivo exponebatur evasit sex pedum longitudinis cum duabus tertiis partibus lineæ. In priore casu calor major fuit quam in posteriore, in hoc vero major fuit quam calor externarum partium corporis humani. Nam metalla ad solem æstivum valde incalescunt. At virga penduli in horologio oscillatorio nunquam exponi solet calori solis æstivi, nunquam calorem concipit calori externæ superficiei corporis humani æqualem. Et propterea virga penduli in horologio tres pedes longa, paulo quidem longior erit tempore æstivo quam hyberno, sed excessu quartam

quartam partem lineæ unius vix superante. Proinde differentia tota longitudinis pendulorum quæ in diversis regionibus isochrona sunt, diverso calori attribui non potest. Sed neque erroribus astronomicorum e *Gallia* missorum tribuenda est hæc differentia. Nam quamvis eorum observationes non perfecte congruant inter se, tamen errores sunt adeo parvi ut contemni possint. Et in hoc concordant omnes, quod isochrona pendula sunt breviora sub æquatore quam in observatorio regio Parisiensi, existente differentia non minore quam lineæ unius cum quadrante, non majore quam linearum 2 $\frac{2}{3}$ . Per observationes D. *Richeri* in *Cayenna* factas differentia fuit lineæ unius cum quadrante. Per eas D. *Des Hayes* differentia illa correctâ prodiit lineæ unius cum semisse vel unius cum tribus quartis partibus lineæ. Per eas aliorum minus accuratas prodiit eadem quasi duarum linearum. Et hæc discrepantia partim ab erroribus observationum, partim a dissimilitudine partium internarum terræ & altitudine montium, & partim a diversis æeris caloribus, oriri potuit.

Virga ferrea pedes tres longa, tempore hyberno in *Anglia*, brevior est quam tempore æstivo, sexta parte lineæ unius, quantum sentio. Ob calores sub æquatore auferatur hæc quantitas de differentia lineæ unius cum quadrante a *Richero* observata, & manebit lineæ 1 $\frac{1}{2}$ : quæ cum lineæ 1 $\frac{2}{3}$  per theoriam jam ante collectâ probe congruit. *Richerus* autem observationes in *Cayenna* factas, singulis septimanis per menses decem iteravit, & longitudines penduli in virga ferrea ibi notatas cum longitudinibus ejus in *Gallia* similiter notatis contulit. Quæ diligentia & cautela in aliis observatoribus defuisse videtur. Si hujus observationibus fidendum est, terra altior erit ad æquatorem quam ad polos excessu milliarium septendecim circiter, ut supra per theoriam prodiit.

PROPO-



PROPOSITIO XXI. THEOREMA XVII.

*Puncta æquinoctialia regredi, & axem terræ singulis revolutionibus annuis nutando bis inclinari in eclipticam & bis redire ad positionem priorem.*

Patet per corol. 20. prop. LXVI. lib. I. Motus tamen iste nutandi perexiguus esset debet, & vix aut ne vix quidem sensibilis.

PROPOSITIO XXII. THEOREMA XVIII.

*Motus omnes lunares, omnesque motuum inæqualitates ex allatis principiis consequi.*

Planetæ majores, interea dum circa solem feruntur, posse alios minores circum se revolventes planetas deferre, & minores illos in ellipsis, umbilicos in centrīs majorum habentibus, revolvi debere patet per prop. LXV. lib. I. Actione autem solis perturbabuntur eorum motus multimode, iisque adficiuntur inæqualitatibus quæ in luna nostra notantur. Hæc utique (per corol. 2, 3, 4, & 5. prop. LXVI.) velocius movetur, ac radio ad terram ducto describit aream pro tempore majorem, orbemque habet minus curvum, atque ideo propius accedit ad terram, in syzygiis quam in quadraturis, nisi quatenus impedit motus eccentricitatis. Eccentricitas enim maxima est (per corol. 9. prop. LXVI.) ubi apogæum lunæ in syzygiis versatur, & minima ubi idem in quadraturis consistit; & inde luna in perigæo velocior est & nobis propior, in apogæo autem tardior & remotior in syzygiis quam in quadraturis. Progreditur insuper apogæum, & regrediuntur nodi, sed motu inæquabili. Et apogæum quidem (per corol. 7. & 8. prop. LXVI.) velocius progreditur in syzygiis suis, tardius regreditur in quadraturis, & excessu progressus supra regressum annuatim fertur in consequentia. Nodi autem (per corol. 2. prop. LXVI.) quiescunt in syzygiis suis & velocissime regrediuntur in quadraturis. Sed & major est lunæ latitudo maxima in ipsius quadraturis (per corol. 10. prop. LXVI.) quam in syzygiis: & motus medius tardior in perihelio terræ (per corol. 6. prop. LXVI.) quam in ipsius aphelio. Atque hæc sunt inæqualitates insigniores ab astronomis notatæ.

Sunt

Sunt etiam aliæ quædam a prioribus astronomis non observatæ inæqualitates, quibus motus lunares adeo perturbantur, ut nulla hæcenus lege ad regulam aliquam certam reduci potuerint. Velocitates enim seu motus horarii apogæi & nodorum lunæ, & eorundem æquationes, ut & differentia inter eccentricitatem maximam in syzygiis & minimam in quadraturis, & inæqualitas quæ variatio dicitur, augentur ac diminuuntur annuatim (per corol. 14. prop. LXVI.) in triplicata ratione diametri apparentis solaris. Et variatio præterea augetur vel diminuitur in duplicata ratione temporis inter quadraturas quam proxime (per corol. 1, & 2. lem. x. & corol. 16. prop. LXVI. lib. I.) sed hæc inæqualitas in calculo astronomico ad prosthaphæresin lunæ referri solet, & cum ea confundi.

PROPOSITIO XXIII. PROBLEMA V.

*Motus inæquales satellitum jovis & saturni a motibus lunaribus derivare.*

Ex motibus lunæ nostræ motus analogi lunarum seu satellitum jovis sic derivantur. Motus medius nodorum satellitis extimi jovialis, est ad motum medium nodorum lunæ nostræ, in ratione composita ex ratione duplicata temporis periodici terræ circa solem ad tempus periodicum jovis circa solem, & ratione simplici temporis periodici satellitis circa jovem ad tempus periodicum lunæ circa terram (per corol. 16. prop. LXVI. lib. I.) ideoque annis centum conficit nodus iste 8<sup>or</sup>. 24'. in antecedentia. Motus medii nodorum satellitum interiorum sunt ad motum hujus, ut illorum tempora periodica ad tempus periodicum hujus (per idem corollarium) & inde dantur. Motus autem augis satellitis cujusque in consequentia est ad motum nodorum ipsius in antecedentia, ut motus apogæi lunæ nostræ ad hujus motum nodorum, (per idem corol.) & inde datur. Diminui tamen debet motus augis sic inventus in ratione 5 ad 9 vel 1 ad 2 circiter, ob causam quam hic exponere non vacat. Æquationes maximæ nodorum & augis satellitis cujusque fere sunt ad æquationes maximas nodorum & augis lunæ respectivæ, ut motus nodorum & augis satellitum tempore unius revolutionis æquationum priorum, ad motus nodorum & apogæi lunæ tempore unius revolutionis æquationum



tionum posteriorum. Variatio satellitis e jove spectati, est ad variationem lunæ, ut sunt ad invicem toti motus nodorum temporibus quibus satelles & luna ad solem revolvuntur, per idem corollarium; ideoque in satellite extimo non superat 5". 12'''.

PROPOSITIO XXIV. THEOREMA XIX.

*Fluxum & refluxum maris ab actionibus solis ac lunæ oriri.*

Mare singulis diebus tam lunaribus quam solaribus bis intumescere debere ac bis defluere, patet per corol. 19. & 20. prop. LXVI. lib. 1. ut & aquæ maximam altitudinem, in maribus profundis & liberis, appulsu luminarium ad meridianum loci minori quam sex horarum spatio sequi, uti fit in maris *Atlantici* & *Æthiopici* tractu toto orientali inter *Galliam* & promontorium *Bonæ Spei* ut & in maris *Pacisici* littore *Chilensi* & *Peruviano*: in quibus omnibus littoribus æstus in horam circiter secundam, tertiam vel quartam, incidit, nisi ubi motus ab oceano profundo per loca vadosa propagatus usque ad horam quintam sextam septimam aut ultra retardatur. Horas numero ab appulsu luminaris utriusque ad meridianum loci, tam infra horizontem quam supra, & per horas diei lunaris intelligo vigesimas quartas partes temporis quo luna motu apparente diurno ad meridianum loci revertitur. Vis solis vel lunæ ad mare elevandum maxima est in ipso appulsu luminaris ad meridianum loci. Sed vis eo tempore in mare impressa manet aliquamdiu & per vim novam subinde impressam augetur, donec mare ad altitudinem maximam ascenderit, id quod fiet spatio horæ unius duarumve sed sæpius ad littora spatio horarum trium circiter, vel etiam plurium si mare sit vadusum.

Motus autem bini, quos luminaria duo excitant, non cernentur distincte, sed motum quendam mixtum efficient. In luminarium conjunctione vel oppositione conjunguntur eorum effectus, & componetur fluxus & refluxus maximus. In quadraturis sol attollet aquam ubi luna deprimit, deprimetque ubi luna attollit; & ex effectuum differentia æstus omnium minimus orietur. Et quoniam, experientia teste, major est effectus lunæ quam solis, incidet aquæ maxima altitudo in horam tertiam lunarem circiter. Extra syzygias & quadraturas, æstus maximus qui sola vi lunari incidere semper deberet in horam tertiam lunarem, & sola solari in tertiam solarem, com-

compositis viribus incidet in tempus aliquod intermedium quod tertiæ lunari propinquius est; ideoque in transitu lunæ a syzygiis ad quadraturas, ubi hora tertia solaris præcedit tertiam lunarem, maxima aquæ altitudo præcedet etiam tertiam lunarem, idque maximo intervallo paulo post octantes lunæ; & paribus intervallis æstus maximus sequetur horam tertiam lunarem in transitu lunæ a quadraturis ad syzygias. Hæc ita sunt in mari aperto. Nam in ostiis fluviorum fluxus majores cæteris paribus tardius ad *duplū* venient.

Pendent autem effectus luminarium ex eorum distantis a terra. In minoribus enim distantis majores sunt eorum effectus, in majoribus minores, idque in triplicata ratione diametrorum apparentium. Igitur sol tempore hyberno, in perigæo existens, majores edit effectus, efficitque ut æstus in syzygiis paulo majores sint, & in quadraturis paulo minores (cæteris paribus) quam tempore æstivo; & luna in perigæo singulis mensibus majores ciet æstus quam ante vel post dies quindecim, ubi in apogæo versatur. Unde fit ut æstus duo omnino maximi in syzygiis continuis se mutuo non sequantur.

Pendet etiam effectus utriusque luminaris ex ipsius declinatione seu distantia ab æquatore. Nam si luminare in polo constitueretur, traheret illud singulas aquæ partes constanter, sine actionis intensione & remissione, ideoque nullam motus reciprocationem cieret. Igitur luminaria recedendo ab æquatore polum versus, effectus suos gradatim amittent, & propterea minores ciebunt æstus in syzygiis solstitialibus quam in æquinoctialibus. In quadraturis autem solstitialibus majores ciebunt æstus quam in quadraturis æquinoctialibus; eo quod lunæ jam in æquatore constitutæ effectus maxime superat effectum solis. Incidunt igitur æstus maximi in syzygias & minimi in quadraturas luminarium, circa tempora æquinoctii utriusque. Et æstum maximum in syzygiis comitatur semper minimus in quadraturis, ut experientia compertum est. Per minorem autem distantiam solis a terra, tempore hyberno quam tempore æstivo, fit ut æstus maximi & minimi sæpius præcedant æquinoctium vernum quam sequantur, & sæpius sequantur autumnale quam præcedant.

Pendent etiam effectus luminarium ex locorum latitudine. Designet *ApEP* tellurem aquis profundis undique coopertam; *C* centrum ejus; *P, p* polos; *AE* æquatorem; *F* locum quemvis extra æquatorem; *Ff* parallelum loci; *Dd* parallelum ei respondentem ex al-















Hæc omnia ita se habent, ex hypothesi quod sol & terra quiescunt, & luna tempore synodico dierum 27. hor. 7. min. 43. revolvitur. Cum autem periodus synodica lunaris vere sit dierum 29. hor. 12. & min. 44. augeri debent momentorum incrementa in ratione temporis, id est, in ratione 1080853 ad 1000000. Hoc pacto incrementum totum, quod erat pars  $\frac{1}{1080853}$ , momenti mediocris, jam fiet ejusdem pars  $\frac{1}{1000000}$ . Ideoque momentum areae in quadratura lunæ erit ad ejus momentum in syzygia ut 11023—50 ad 11023+50, seu 10973 ad 11073; & ad ejus momentum, ubi luna in alio quovis loco intermedio  $P$  versatur, ut 10973 ad 10973+ $Pd$ , existente videlicet  $TP$  æquali 100.

Area igitur, quam luna radio ad terram ducto singulis temporis particulis æqualibus describit, est quam proxime ut summa numeri 219,46 & sinus versi duplicatae distantiae lunæ a quadratura proxima, in circulo cujus radius est unitas. Hæc ita se habent ubi variatio in octantibus est magnitudinis mediocris. Sin variatio ibi major sit vel minor, augeri debet vel minui sinus ille versus in eadem ratione.

## PROPOSITIO XXVII. PROBLEMA VIII.

*Ex motu horario lunæ invenire ipsius distantiam a terra.*

Area, quam luna radio ad terram ducto singulis temporis momentis describit, est ut motus horarius lunæ & quadratum distantiae lunæ a terra conjunctim; & propterea distantia lunæ a terra est in ratione composita ex subduplicata ratione areae directe & subduplicata ratione motus horarii inverse. *Q. E. I.*

*Corol. 1.* Hinc datur lunæ diameter apparens: quippe quæ sit reciproce ut ipsius distantia a terra. Tentent astronomi quam probe hæc regula cum phænomenis congruat.

*Corol. 2.* Hinc etiam orbis lunaris accuratius ex phænomenis quam antehac definiri potest.

PROPO.

## PROPOSITIO XXVIII. PROBLEMA IX.

LIBER  
TERTIUS.

*Invenire diametros orbis in quo luna, sine eccentricitate, moveri deberet.*

Curvatura trajectoriæ, quam mobile, si secundum trajectoriæ illius perpendiculum trahatur, describit, est ut attractio directe & quadratum velocitatis inverse. Curvaturas linearum pono esse inter se in ultima proportionem sinuum vel tangentium angulorum contactuum ad radios æquales pertinentium, ubi radii illi in infinitum diminuantur. Attractio autem lunæ in terram in syzygiis est excessus gravitatis ipsius in terram supra vim solarem  $2PK$  (vide *fig. pag. 428.*) qua gravitas acceleratrix lunæ in solem superat gravitatem acceleratricem terræ in solem vel ab ea superatur. In quadraturis autem attractio illa est summa gravitatis lunæ in terram & vis solaris  $KT$ , qua luna in terram trahitur. Et hæ attractiones, si  $\frac{AT+CT}{2}$  dica-

tur  $N$ , sunt ut  $\frac{178725}{ATq} - \frac{2000}{CT \times N}$  &  $\frac{178725}{CTq} + \frac{1000}{AT \times N}$  quam proxime; seu ut  $178725 N \times CTq - 2000 ATq \times CT$  &  $178725 N \times ATq + 1000 CTq \times AT$ . Nam si gravitas acceleratrix lunæ in terram exponatur per numerum 178725, vis mediocris  $ML$ , quæ in quadraturis est  $PT$  vel  $TK$  & lunam trahit in terram, erit 1000, & vis mediocris  $TM$  in syzygiis erit 3000; de qua, si vis mediocris  $ML$  subducatur, manebit vis 2000 qua luna in syzygiis distrahitur a terra, quamque jam ante nominavi  $2PK$ . Velocitas autem lunæ in syzygiis  $A$  &  $B$  est ad ipsius velocitatem in quadraturis  $C$  &  $D$ , ut  $CT$  ad  $AT$  & momentum areae quam luna radio ad terram ducto describit in syzygiis ad momentum ejusdem areae in quadraturis conjunctim, i. e. ut 11073  $CT$  ad 10973  $AT$ . Sumatur hæc ratio bis inverse & ratio prior semel directe, & fiet curvatura orbis lunaris in syzygiis ad ejusdem curvaturam in quadraturis ut  $120406729 \times 178725 ATq \times CTq \times N - 120406729 \times 2000 ATq \times CT$  ad  $122611329 \times 178725 ATq \times CTq \times N + 122611329 \times 1000 CTq \times AT$ , i. e. ut  $2151969 AT \times CT \times N - 24081 AT \text{ cub.}$  ad  $2191371 AT \times CT \times N + 12261 CT \text{ cub.}$

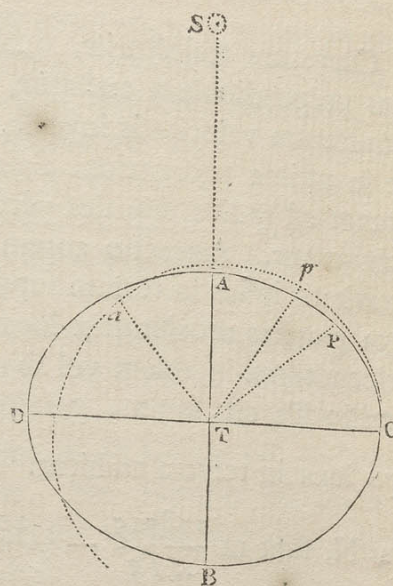
Quoniam figura orbis lunaris ignoratur, hujus vice assumamus elliptin  $DBCA$ , in cujus centro  $T$  terra collocetur, & cujus axis major

K k k

jor



jor  $DC$  quadraturis, minor  $AB$  syzygiis interjaceat. Cum autem planum ellipseos hujus motu angulari circa terram revolvatur, & trajectory ejus curvaturam consideramus describi debet in plano. quod omni motu angulari omnino destituitur: consideranda erit figura, quam luna in ellipsi illa revolvendo describit in hoc plano, hoc est figura  $Cpa$ , cujus puncta singula  $p$  inveniuntur capiendū punctum quodvis  $P$  in ellipsi, quod locum lunæ repræsentet, & ducendo  $Tp$  æqualem  $TP$ , ea lege ut angulus  $PTp$  æqualis sit motui apparenti solis a tempore quadraturæ  $C$  confecto; vel (quod eodem fere recidit) ut angulus  $CTp$  sit ad angulum  $CTP$  ut tempus revolutionis synodice lunaris ad tempus revolutionis periodice seu  $29^d. 12^h. 44'$ , ad  $27^d. 7^h. 43'$ . Capiatur igitur angulus  $CTa$  in eadem ratione ad angulum rectum  $CTA$ , & sit longitudo  $Ta$  æqualis longitudini  $TA$ ; & erit  $a$  apsis ima &  $C$  apsis summa orbis hujus  $Cpa$ . Rationes autem ineundo invenio quod differentia inter curvaturam orbis  $Cpa$  in vertice  $a$ , & curvaturam circuli centro  $T$  intervallo  $TA$  descripti, sit ad differentiam inter curvaturam ellipseos in vertice  $A$  & curvaturam ejusdem circuli, in duplicata ratione anguli  $CTP$  ad angulum  $CTp$ ; & quod curvatura ellipseos in  $A$  sit ad curvaturam circuli illius, in duplicata ratione  $TA$  ad  $TC$ ; & curvatura circuli illius ad curvaturam circuli centro  $T$  intervallo  $TC$  descripti, ut  $TC$  ad  $TA$ ; hujus autem curvatura ad curvaturam ellipseos in  $C$ , in duplicata ratione  $TA$  ad  $TC$ ; & differentia inter curvaturam ellipseos in vertice  $C$  & curvaturam circuli novissimi, ad differentiam inter curvaturam figuræ  $Tpa$  in vertice  $C$  & curvaturam ejusdem circuli, in duplicata ratione anguli  $CTp$  ad angulum  $CTP$ . Quæ quidem rationes ex sinibus angulorum contactus ac differentiarum angulorum facile colliguntur. His autem inter se collatis, prodit curvatura figuræ  $Cpa$  in  $a$  ad ipsius curvaturam in  $C$ , ut  $AT cub. + \frac{16821}{1000000} CTq \times AT$  ad  $CT cub. + \frac{16821}{1000000} ATq \times CT$ . Ubi numerus



rus  $\frac{16821}{1000000}$  designat differentiam quadratorum angulorum  $CTP$  &  $CTp$  applicatam ad quadratum anguli minoris  $CTP$ , seu (quod perinde est) differentiam quadratorum temporum  $27^d. 7^h. 43'$ , &  $29^d. 12^h. 44'$ , applicatam ad quadratum temporis  $27^d. 7^h. 43'$ .

Igitur cum  $a$  designet syzygiam lunæ, &  $C$  ipsius quadraturam, proportio jam inventa eadem esse debet cum proportionem curvaturæ orbis lunæ in syzygiis ad ejusdem curvaturam in quadraturis, quam supra invenimus. Proinde ut inveniatur proportio  $CT$  ad  $AT$ , duo extrema & media in se invicem. Et termini prodeuntes ad  $AT \times CT$  applicati, fiunt  $2062,79 CTq - 2151969 N \times CT cub. + 368676 N \times AT \times CTq + 36342 ATq \times CTq - 362047 N \times ATq \times CT + 2191371 N \times AT cub. + 4051,4 ATqq = 0$ . Hic pro terminorum  $AT$  &  $CT$  semisumma  $N$  scribo 1, & pro eorundem semidifferentia ponendo  $x$ , fit  $CT = 1 + x$ , &  $AT = 1 - x$ : quibus in æquatione scriptis, & æquatione prodeunte resoluta, obtinetur  $x$  æqualis 0,00719, & inde semidiameter  $CT$  fit 1,00719, & semidiameter  $AT$  0,99281, qui numeri sunt ut  $70\frac{1}{3}$  &  $69\frac{2}{3}$  quam proxime. Est igitur distantia lunæ a terra in syzygiis ad ipsius distantiam in quadraturis (seposita scilicet eccentricitatis consideratione) ut  $69\frac{2}{3}$  ad  $70\frac{1}{3}$ , vel numeris rotundis ut 69 ad 70.

## PROPOSITIO XXIX. PROBLEMA X.

*Invenire variationem lunæ.*

Oritur hæc inæqualitas partim ex forma elliptica orbis lunaris, partim ex inæqualitate momentorum areæ, quam luna radio ad terram ducto describit. Si luna  $P$  in ellipsi  $DBCA$  circa terram in centro ellipseos quiescentem moveretur, & radio  $TP$  ad terram ducto describeret aream  $CTP$  tempori proportionalem; esset autem ellipseos semidiameter maxima  $CT$  ad semidiametrum minimam  $TA$  ut 70 ad 69: foret tangens anguli  $CTP$  ad tangentem anguli motus medii a quadratura  $C$  computati, ut ellipseos semidiameter  $TA$  ad ejusdem semidiametrum  $TC$  seu 69 ad 70. Debet autem descriptio areæ  $CTP$ , in progressu lunæ a quadratura ad syzygiam, ea ratione accelerari, ut ejus momentum in syzygia lunæ sit ad ejus momentum in quadratura ut 11073 ad 10973, utque excessus momenti in loco quovis intermedio  $P$  supra momentum in quadratura sit ut quadratum

K k k 2

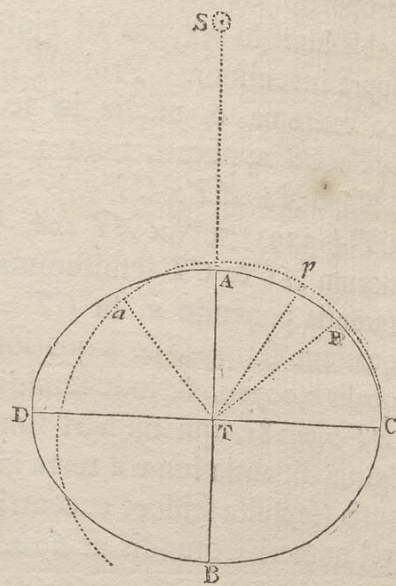
tum



tum sinus anguli  $CTP$ . Id quod satis accurate fiet, si tangens anguli  $CTP$  diminuatur in subduplicata ratione numeri 10973 ad numerum 11073, id est, in ratione numeri 68,6877 ad numerum 69. Quo pacto tangens anguli  $CTP$  jam erit ad tangentem motus medii ut 68,6877 ad 70, & angulus  $CTP$  in octantibus, ubi motus medius est  $45^{\circ}$ , inveniatur  $44^{\circ} 27' 28''$ , qui subductus de angulo motus medii  $45^{\circ}$ , relinquit variationem maximam  $32'$ .  $32''$ . Hæc ita se haberent si luna, pergendo a quadratura ad syzygiam, describeret angulum  $CTA$  graduum tantum nonaginta. Verum ob motum terræ, quo sol in consequentia motu apparente transfertur, luna, priusquam solem assequitur, describit angulum  $CTa$  angulo recto majorem in ratione temporis revolutionis lunaris synodicae ad tempus revolutionis periodicae, id est, in ratione  $29^d 12^h 44'$  ad  $27^d 7^h 43'$ . Et hoc pacto anguli omnes circa centrum  $T$  dilatantur in eadem ratione, & variatio maxima quæ secus esset  $32' 32''$ , jam aucta in eadem ratione fit  $35' 10''$ .

Hæc est ejus magnitudo in mediocri distantia solis a terra, neglectis differentiis quæ a curvatura orbis magni majorique solis actione in lunam falcatam & novam quam in gibbosam & plenam, oriri possint. In aliis distantis solis a terra, variatio maxima est in ratione quæ componitur ex duplicata ratione temporis revolutionis synodicae lunaris (dato anni tempore) directe, & triplicata ratione distantia solis a terra inverse. Ideoque in apogæo solis, variatio maxima est  $33' 14''$ , & in ejus perigæo  $37' 11''$ , si modo eccentricitas solis sit ad orbis magni semidiametrum transversam ut  $16\frac{1}{2}$  ad 1000.

Hactenus variationem investigavimus in orbe non eccentrico, in quo utique luna in octantibus suis semper est in mediocri sua distantia a terra. Si luna propter eccentricitatem suam, magis vel minus distat a terra quam si locaretur in hoc orbe, variatio paulo major esse potest vel paulo minor quam pro regula hic allata: sed excessum

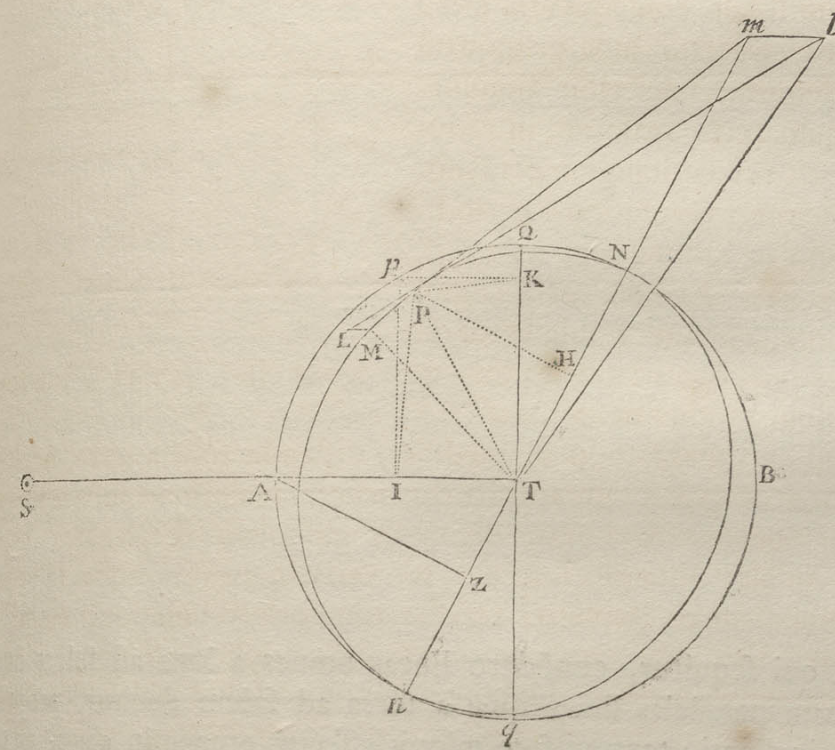


cessum vel defectum ab astronomis per phænomena determinandum  
relinquo. LIBER  
TERTIUS

## PROPOSITIO XXX. PROBLEMA XI.

*Invenire motum horarium nodorum lunæ in orbe circulari.*

Designet  $S$  solem,  $T$  terram,  $P$  lunam,  $NPn$  orbem lunæ,  $Npn$  vestigium orbis in plano eclipticæ;  $N, n$  nodos,  $nTNm$  lineam nodorum infinite productam;  $PI, PK$  perpendiculara demissa in lineas  $ST, Qq$ ;  $Pp$  perpendicularum demissum in planum eclipticæ;  $A, B$  syzygias lunæ in plano eclipticæ;  $AZ$  perpendicularum in lineam no-



dorum  $Nn$ ;  $Q, q$  quadraturas lunæ in plano eclipticæ, &  $pK$  perpendicularum in lineam  $Qq$  quadraturis interjacentem. Vis solis ad perturbandum motum lunæ (per. prop. xxv.) duplex est, altera lineæ  $LM$  in schemate propositionis illius, altera lineæ  $MT$  proportionalis. Et luna vi priore in terram, posteriore in solem secundum lineam rectæ







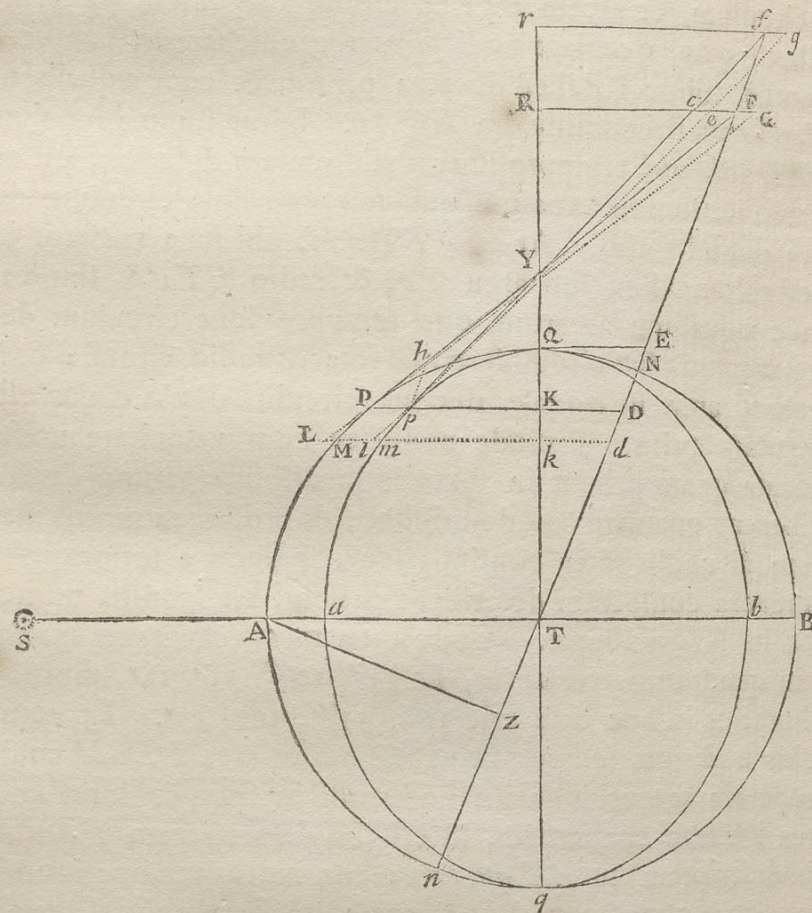




## PROPOSITIO XXXI. PROBLEMA XII.

*Invenire motum horarium nodorum lunæ in orbe elliptico.*

Designet  $Qpmq$  ellipsin, axe majore  $Qq$ , minore  $ab$  descriptam,  $QAqB$  circulum circumscriptum,  $T$  terram in utriusque centro communi,  $S$  solem,  $p$  lunam in ellipsi motam, &  $pm$  arcum quem data temporis particula quam minima describit,  $N$  &  $n$  nodos



linea  $Nn$  junctos,  $pK$  &  $mk$  perpendicularia in axem  $Qq$  demissa & hinc inde producta, donec occurrant circulo in  $P$  &  $M$ , & lineæ nodorum in  $D$  &  $d$ . Et si luna, radio ad terram ducto, aream describat temporis proportionalem, erit motus horarius nodi in ellipsi ut area  $pDdm$  &  $AZq$  conjunctim.

Nam

Nam si  $PF$  tangat circulum in  $P$ , & producta occurrat  $TN$  in  $F$ , &  $pf$  tangat ellipsin in  $p$  & producta occurrat eidem  $TN$  in  $f$ , convenient autem hæ tangentes in axe  $TQ$  ad  $T$ ; & si  $ML$  designet spatium quod luna in circulo revolvens, interea dum describit arcum  $PM$ , urgente & impellente vi prædicta  $3IT$ , seu  $3PK$  motu transverso describere posset, &  $ml$  designet spatium quod luna in ellipsi revolvens eodem tempore, urgente etiam vi  $3IT$  seu  $3PK$ , describere posset; & producantur  $LP$  &  $lp$  donec occurrant plano eclipticæ in  $G$  &  $g$ ; & jungantur  $FG$  &  $fg$ , quarum  $FG$  producta secet  $pf$ ,  $pg$  &  $TQ$  in  $c$ ,  $e$  &  $R$  respective, &  $fg$  producta secet  $TQ$  in  $r$ . Quoniam vis  $3IT$  seu  $3PK$  in circulo est ad vim  $3IT$  seu  $3PK$  in ellipsi, ut  $PK$  ad  $pK$ , seu  $AT$  ad  $aT$ ; erit spatium  $ML$  vi priore genitum, ad spatium  $ml$  vi posteriore genitum, ut  $PK$  ad  $pK$ , id est, ob similes figuras  $PKp$  &  $PKr$ , ut  $FR$  ad  $cR$ . Est autem  $ML$  ad  $FG$  (ob similia triangula  $PLM$ ,  $PGF$ ) ut  $PL$  ad  $PG$ , hoc est (ob parallelas  $Lk$ ,  $PK$ ,  $GR$ ) ut  $pl$  ad  $pe$ , id est (ob similia triangula  $plm$ ,  $cpe$ ) ut  $lm$  ad  $ce$ ; & inverse ut  $LM$  est ad  $lm$ , seu  $FR$  ad  $cR$ , ita est  $FG$  ad  $ce$ . Et propterea si  $fg$  esset ad  $ce$  ut  $fr$  ad  $cT$ , id est, ut  $fr$  ad  $cR$  (hoc est, ut  $fr$  ad  $FR$  &  $FR$  ad  $cR$  conjunctim, id est, ut  $fr$  ad  $FT$  &  $FG$  ad  $ce$  conjunctim) quoniam ratio  $FG$  ad  $ce$  utrinque ablata relinquit rationes  $fg$  ad  $FG$  &  $fr$  ad  $FT$ , foret  $fg$  ad  $FG$  ut  $fr$  ad  $FT$ ; atque ideo anguli, quos  $FG$  &  $fg$  subtenderent ad terram  $T$ , æquarentur inter se. Sed anguli illi (per ea quæ in præcedente propositione exposuimus) sunt motus nodorum, quo tempore luna in circulo arcum  $PM$ , in ellipsi arcum  $pm$  percurrit: & propterea motus nodorum in circulo & ellipsi æquarentur inter se. Hæc ita se haberent, si modo  $fg$  esset ad  $ce$  ut  $fr$  ad  $cT$ , id est, si  $fg$  æqualis esset  $\frac{ce \times fr}{cT}$ . Verum ob similia triangula  $fgp$ ,  $cep$ , est  $fg$  ad  $ce$  ut  $fp$  ad  $cp$ ; ideoque  $fg$  æqualis est  $\frac{ce \times fp}{cp}$ ; & propterea angulus, quem  $fg$  revera subtendit, est ad angulum priorem, quem  $FG$  subtendit, hoc est, motus nodorum in ellipsi ad motum nodorum in circulo, ut hæc  $fg$  seu  $\frac{ce \times fp}{cp}$  ad priorem  $fg$  seu  $\frac{ce \times fr}{cT}$ , id est, ut  $fp \times cT$  ad  $fr \times cp$ , seu  $fp$  ad  $fr$  &

L 112

cT





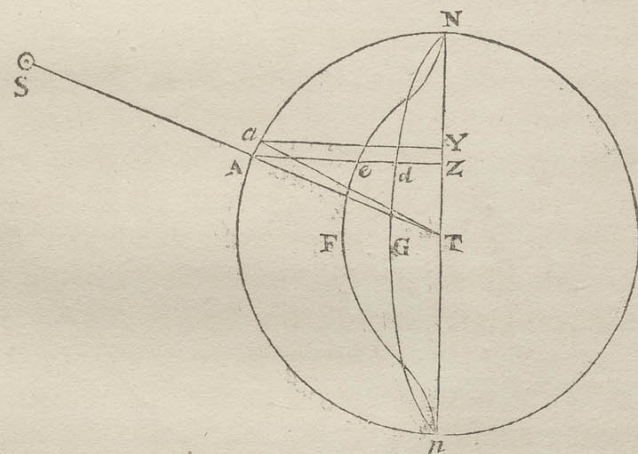






motus medius nodorum circulo toti respondens. Et motus nodorum, quo tempore sol pergit ab  $N$  ad  $A$ , est ad  $19^{\circ} 49' 3'' 55'''$ . ut area  $NAZ$  ad circulum totum.

Hæc ita se habent ex hypothesi, quod nodus horis singulis in locum priorem retrahitur, sic ut sol anno toto completo ad nodum eundem redeat a quo sub initio digressus fuerat. Verum per motum nodi fit ut sol citius ad nodum revertatur, & computanda jam est abbreviatio temporis. Cum sol anno toto conficiat  $360$  gradus, & nodus motu maximo eodem tempore conficeret  $39^{\circ} 38' 7'' 50'''$ , seu  $39,6355$  gradus; & motus mediocris nodi in loco quovis  $N$  fit ad ipsius motum mediocrem in quadraturis suis, ut  $AZq$  ad  $ATq$ : erit motus solis ad motum nodi in  $N$ , ut  $360 ATq$  ad  $39,6355 AZq$ ; id est, ut  $9,0827667 ATq$  ad  $AZq$ . Unde si circuli totius circum-



ferentia  $NaN$  dividatur in particulas æquales  $Aa$ , tempus quo sol percurrat particulam  $Aa$ , si circulus quiesceret, erit ad tempus quo percurrat eandem particulam, si circulus una cum nodis circa centrum  $T$  revolvatur, reciproce ut  $9,0827667 ATq$  ad  $9,0827667 ATq + AZq$ . Nam tempus est reciproce ut velocitas qua particula percurritur, & hæc velocitas est summa velocitatum solis & nodi. Igitur si tempus, quo sol sine motu nodi percurreret arcum  $NA$ , exponatur per sectorem  $NTA$ , & particula temporis quo percurreret arcum quam minimum  $Aa$ , exponatur per sectoris particulam  $ATa$ ; & (perpendiculo  $aT$  in  $Nn$  demisso) si in  $AZ$  capiatur  $dZ$ , ejus longitudinis

gitudinis ut sit rectangulum  $dZ$  in  $ZT$  ad sectoris particulam  $ATa$  ut  $AZq$  ad  $9,0827646 ATq + AZq$ , id est, ut sit  $dZ$  ad  $\frac{1}{2}AZ$  ut  $ATq$  ad  $9,0827646 ATq + AZq$ ; rectangulum  $dZ$  in  $ZT$  designabit decrementum temporis ex motu nodi oriundum, tempore toto quo arcus  $Aa$  percurritur. Et si punctum  $d$  tangit curvam  $NdGn$ , area curvilinea  $NdZ$  erit decrementum totum, quo tempore arcus totus  $NA$  percurritur; & propterea excessus sectoris  $NAT$  supra aream  $NdZ$  erit tempus illud totum. Et quoniam motus nodi tempore minore minor est in ratione temporis, debet etiam area  $AaTZ$  diminui in eadem ratione. Id quod fiet si capiatur in  $AZ$  longitudo  $eZ$ , quæ sit ad longitudinem  $AZ$  ut  $AZq$  ad  $9,0827646 ATq + AZq$ . Sic enim rectangulum  $eZ$  in  $ZT$  erit ad aream  $AZTa$  ut decrementum temporis, quo arcus  $Aa$  percurritur, ad tempus totum quo percurreretur, si nodus quiesceret: & propterea rectangulum illud respondebit decremento motus nodi. Et si punctum  $e$  tangat curvam  $NeFn$ , area tota  $NeZ$ , quæ summa est omnium decrementorum, respondebit decremento toti, quo tempore arcus  $AN$  percurritur; & area reliqua  $NAe$  respondebit motui reliquo, qui verus est nodi motus, quo tempore arcus totus  $NA$  per solis & nodi conjunctos motus percurritur. Jam vero area semicirculi est ad aream figuræ  $NeFn$ , per methodum serierum infinitarum quæsitam, ut  $793$  ad  $60$  quaproxime. Motus autem qui respondet circulo toti erat  $19^{\circ} 49' 3'' 55'''$ . & propterea motus, qui figuræ  $NeFn$  duplicatæ respondet, est  $18^{\circ} 29' 58'' 2'''$ . Qui de motu priore subductus relinquit  $18^{\circ} 19' 5'' 53'''$ . motum totum nodi respectu fixarum inter sui ipsius conjunctiones cum sole; & hic motus de solis motu annuo graduum  $360$  subductus, relinquit  $341^{\circ} 40' 54'' 7'''$ . motum solis inter easdem conjunctiones. Ille autem motus est ad motum annum  $360^{\circ}$  ut nodi motus jam inventus  $18^{\circ} 19' 5'' 53'''$ . ad ipsius motum annum, qui propterea erit  $19^{\circ} 18' 1'' 23'''$ . Hic est motus medius nodorum in anno sidereo. Idem per tabulas astronomicas est  $19^{\circ} 21' 21'' 50'''$ . Differentia minor est parte trecentesima motus totius, & ab orbis lunaris eccentricitate & inclinatione ad planum eclipticæ oriri videtur. Per eccentricitatem orbis motus nodorum nimis acceleratur, & per ejus inclinationem vicissim retardatur aliquantulum, & ad justam velocitatem reducitur.

M m m

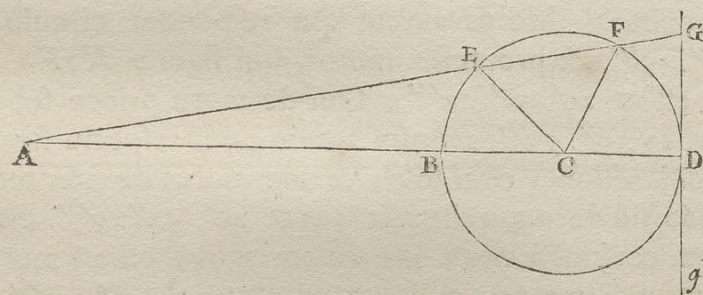
PRO-



PROPOSITIO XXXIII. PROBLEMA XIV.

*Invenire motum verum nodorum lunæ.*

In tempore quod est ut area  $NTA - NdZ$ , (in fig. præced.) motus iste est ut area  $NAe$ , & inde datur. Verum ob nimiam calculi difficultatem, præstat sequentem problematis constructionem adhibere. Centro  $C$ , intervallo quovis  $CD$ , describatur circulus  $BEFD$ . Producat  $DC$  ad  $A$ , ut sit  $AB$  ad  $AC$  ut motus medius ad semissimæ motus veri mediocris, ubi nodi sunt in quadraturis, id est, ut  $19^{\text{gr}}. 18'. 1''. 23'''$ . ad  $19^{\text{gr}}. 49'. 3''. 55'''$ , atque ideo  $BC$  ad  $AC$  ut motuum differentia  $0^{\text{gr}}. 31'. 2''. 32'''$ , ad motum posteriorem  $19^{\text{gr}}. 49'. 3''. 55'''$ . hoc est, ut 1 ad  $38\frac{1}{2}$ ; dein per punctum  $D$  ducatur infinita  $Gg$ , quæ tangat circumferentiam in  $D$ ; & si capiatur angulus  $BCE$  vel  $BCF$  æqualis duplæ distantie folis a loco nodi, per motum medium invento; & agatur  $AE$  vel  $AF$  secans perpendiculum  $DG$  in  $G$ ; & capiatur angulus qui sit ad motum totum nodi inter ipsius syzygias (id est, ad  $9^{\text{gr}}. 11'. 3''$ .) ut tangens  $DG$  ad circuli  $BED$  circumferentiam totam; atque angulus iste (pro quo angulus  $DAG$



usurpari potest) ad motum medium nodorum addatur ubi nodi transeunt a quadraturis ad syzygias, & ab eodem motu medio subducatur ubi transeunt a syzygiis ad quadraturas; habebitur eorum motus verus. Nam motus verus sic inventus congruet quam proxime cum motu vero qui prodit exponendo tempus per aream  $NTA - NdZ$ , & motum nodi per aream  $NAe$ ; ut rem perpendiculari & computationes instituenti constabit. Hæc est æquatio semestris motus  
nodorum.

nodorum. Est & æquatio menstrua, sed quæ ad inventionem latitudinis lunæ minime necessaria est. Nam cum variatio inclinationis orbis lunaris ad planum eclipticæ duplici inæqualitati obnoxia sit, alteri semestri, alteri autem menstruæ; hujus menstrua inæqualitas & æquatio menstrua nodorum ita se mutuo contemperant & corrigunt, ut ambæ in determinanda latitudine lunæ negligi possint.

*Corol.* Ex hac & præcedente propositione liquet quod nodi in syzygiis suis quiescunt, in quadraturis autem regrediuntur motu horario  $16''$ .  $19''$ .  $26^{iv}$ . Et quod æquatio motus nodorum in octantibus sit  $1^{\text{er}}$ .  $30'$ . Quæ omnia cum phænomenis cœlestibus probe quadrant.

*Scholium.*

Alia ratione motum nodorum *J. Machin Astron. Prof. Gresham.*  
& *Hen. Pemberton* M. D. seorsum invenerunt. Hujus methodi  
mentio quædam alibi facta est. Et utriusque chartæ, quas vidi, duas  
propositiones continebant, & inter se in utrisque congruebant. Char-  
tam vero *D. Machin*, cum prior in manus meas venerit, hic adjungam.

DE MOTU NODORUM LUNÆ.

PROPOSITIO I.

" Motus solis medius a nodo, definitur per medium pro-  
 " portionale geometricum, inter motum ipsius solis medium,  
 " ☿ motum illum mediocrem quo sol celerrimè recedit a nodo  
 " in quadraturis.

" Sit  $T$  locus ubi terra,  $Nn$  linea nodorum lunæ ad tempus quod-  
 " vis datum,  $KTM$  huic ad rectos angulos ducta,  $TA$  recta circum  
 " centrum revolvens ea cum velocitate angulari qua sol & nodus a  
 " se invicem recedunt, ita ut angulus inter rectam quiescentem  $Nn$   
 " & revolventem  $TA$ , semper fiat æqualis distantie locorum solis &  
 " nodi. Jam si recta quævis  $TK$  dividatur in partes  $TS$  &  $SK$  quæ  
 " sint ut motus solis horarius medius ad motum horarium medio-  
 " crem nodi in quadraturis, & ponatur recta  $TH$  media proportio-  
 " nalis inter partem  $TS$  & totam  $TK$ , hæc recta inter reliquas pro-  
 " portionalis erit motui medio solis a nodo.

M m m 2

“ De-







“stratione propositionis superioris erit angulus  $FTN$  distantia solis  
 “a loco nodi medio, angulus autem  $ATN$  distantia a loco vero, &  
 “tangentes horum angulorum sunt inter se ut  $TK$  ad  $TH$ .  
 “*Coroll.* Hinc angulus  $FTA$  est æquatio nodorum lunæ, sinusque  
 “hujus anguli ubi maximus est in octantibus, est ad radium ut  $KH$   
 “ad  $TK+TH$ . Sinus autem hujus æquationis in loco quovis alio  
 “ $A$  est ad sinum maximum, ut sinus summæ angulorum  $FTN+ATN$   
 “ad radium: hoc est fere ut sinus duplæ distantie solis a loco nodi  
 “medio (nempe 2  $FTN$ ) ad radium.

*Scholium.*

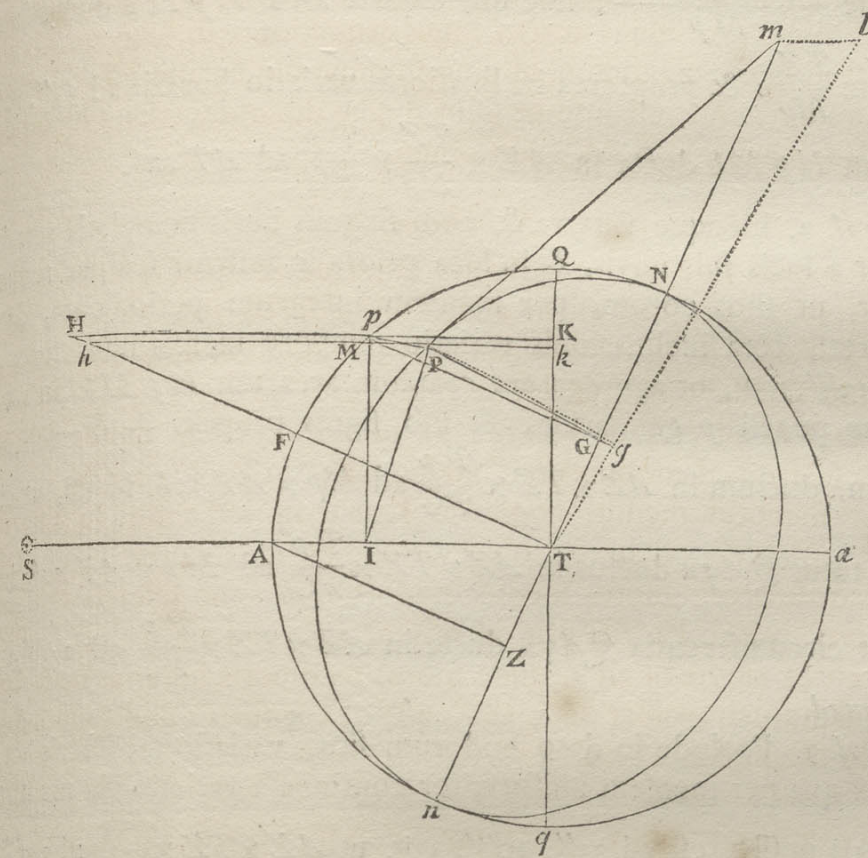
“Si motus nodorum mediocris horarius in quadraturis sit  $16''$ .  
 “ $16''$ .  $37^{\text{iv}}$ .  $42^{\text{v}}$ . hoc est in anno toto fidereo  $39^{\circ}$ .  $38'$ .  $7''$ .  $50'''$ .  
 “erit  $TH$  ad  $TK$  in subduplicata ratione numeri  $9,0827646$  ad nu-  
 “merum  $10,0827646$ , hoc est ut  $18,6524761$  ad  $19,6524761$ . Et pro-  
 “pterea  $TH$  ad  $HK$  ut  $18,6524761$  ad  $1$ . hoc est ut motus solis in  
 “anno fidereo ad motum nodi medium  $19^{\circ}$ .  $18'$ .  $1''$ .  $23'''$ .  
 “At si motus medius nodorum Lunæ in 20 annis Julianis sit  
 “ $386^{\circ}$ .  $50'$ .  $15''$ . sicut ex observationibus in theoria lunæ adhi-  
 “bitis deducitur: motus medius nodorum in anno fidereo erit  $19^{\circ}$ .  
 “ $20'$ .  $31''$ .  $58'''$ . Et  $TH$  erit ad  $HK$  ut  $360^{\circ}$ . ad  $19^{\circ}$ .  $20'$ .  $31''$ .  $58'''$ .  
 “hoc est ut  $18,61214$  ad  $1$ . unde motus mediocris horarius nodorum  
 “in quadraturis evadet  $16''$ .  $18'''$ .  $48^{\text{iv}}$ . Et æquatio nodorum maxi-  
 “ma in octantibus  $1^{\circ}$ .  $29'$ .  $57''$ .

## PROPOSITIO XXXIV. PROBLEMA XV.

*Invenire variationem horariam inclinationis orbis lunaris ad  
 planum eclipticæ.*

Designent  $A$  &  $a$  syzygias;  $Q$  &  $q$  quadraturas;  $N$  &  $n$  nodos;  
 $P$  locum lunæ in orbe suo;  $p$  vestigium loci illius in plano eclipticæ,  
 &  $mTl$  motum momentaneum nodorum ut supra. Et si ad lineam  
 $Tm$  demittatur perpendicularum  $PG$ , jungatur  $pG$ , & producat eam  
 donec occurrat  $Tl$  in  $g$ , & jungatur etiam  $Pg$ : erit angulus  $PGp$   
 inclinatio orbis lunaris ad planum eclipticæ, ubi luna versatur in  $P$ ;  
 & angulus  $Pgp$  inclinatio ejusdem post momentum temporis com-  
 pletum;

pletum; ideoque angulus  $GPg$  variatio momentanea inclinationis. LIBER  
TERTIUS.  
 Est autem hic angulus  $GPg$  ad angulum  $GTg$  ut  $TG$  ad  $PG$  &  $Pp$   
 ad  $PG$  conjunctim. Et propterea si pro momento temporis substi-  
 tuatur hora; cum angulus  $GTg$  (per prop. xxx.) sit ad angulum  $33''$ .



$10''$ .  $33^{\text{iv}}$ . ut  $IT \times PG \times AZ$  ad  $AT$  cub. erit angulus  $GPg$  (seu in-  
 clinationis horaria variatio) ad angulum  $33''$ .  $10''$ .  $33^{\text{iv}}$ . ut  $IT \times AZ$   
 $\times TG \times \frac{Pp}{PG}$  ad  $AT$  cub. *Q. E. I.*

Hæc ita se habent ex hypothesi quod luna in orbe circulari uni-  
 formiter gyratur. Quod si orbis ille ellipticus sit, motus mediocris  
 nodorum minuetur in ratione axis minoris ad axem majorem; uti  
 supra expositum est. Et in eadem ratione minuetur etiam inclina-  
 tionis variatio.

*Corol.*



*Corol. 1.* Si ad  $Nn$  erigatur perpendicularum  $TF$ , sitque  $pM$  motus horarius lunæ in plano eclipticæ; & perpendiculara  $pK$ ,  $Mk$  in  $QT$  demissa & utrinque producta occurrant  $TF$  in  $H$  &  $b$ : erit  $IT$  ad  $AT$  ut  $Kk$  ad  $Mp$ , &  $TG$  ad  $Hp$  ut  $TZ$  ad  $AT$ , ideoque  $IT \times TG$  æquale  $\frac{Kk \times Hp \times TZ}{Mp}$ , hoc est, æquale aræ  $HpMb$  ductæ in rationem  $\frac{TZ}{Mp}$ : & propterea inclinationis variatio horaria ad  $33''. 10'''$ .

$33^{iv}$ . ut  $HpMb$  ducta in  $AZ \times \frac{TZ}{Mp} \times \frac{Pp}{PG}$  ad  $AT$  cub.

*Corol. 2.* Ideoque si terra & nodi singulis horis completis retraherentur a locis suis novis, & in loca priora in instanti semper reducerentur, ut situs eorum, per mensem integrum periodicum, datus maneret; tota inclinationis variatio tempore mensis illius foret ad  $33''. 10'''$ .  $33^{iv}$ , ut aggregatum omnium arearum  $HpMb$ , in revolutione puncti  $p$  genitarum, & sub signis propriis + & - conjunctarum, ductum in  $AZ \times TZ \times \frac{Pp}{PG}$  ad  $Mp \times AT$  cub. id est, ut circulus totus  $QAqa$  ductus in  $AZ \times TZ \times \frac{Pp}{PG}$  ad  $Mp \times AT$  cub. hoc est, ut circumferentia  $QAqa$  ducta in  $AZ \times TZ \times \frac{Pp}{PG}$  ad  $2Mp \times AT$  quad.

*Corol. 3.* Proinde in dato nodorum situ, variatio mediocris horaria, ex qua per mensem uniformiter continuata variatio illa mensura generari posset, est ad  $33''. 10'''$ .  $33^{iv}$ . ut  $AZ \times TZ \times \frac{Pp}{PG}$  ad  $2ATq$ , five ut  $Pp \times \frac{AZ \times TZ}{\frac{1}{2}AT}$  ad  $PG \times 4AT$ , id est (cum  $Pp$  sit ad  $PG$  ut sinus inclinationis prædictæ ad radium, &  $\frac{AZ \times TZ}{\frac{1}{2}AT}$  sit ad  $4AT$  ut sinus duplicati anguli  $ATn$  ad radium quadruplicatum) ut inclinationis ejusdem sinus ductus in sinum duplicatæ distantie nodorum a sole, ad quadruplum quadratum radii.

*Corol. 4.* Quoniam inclinationis horaria variatio, ubi nodi in quadraturis versantur, est (per hanc propositionem) ad angulum  $33''. 10'''$ .

$10'''$ .  $33^{iv}$  ut  $IT \times AZ \times TG \times \frac{Pp}{PG}$  ad  $AT$  cub. id est, ut  $\frac{IT \times TG}{\frac{1}{2}AT}$

$\times \frac{Pp}{PG}$  ad  $2AT$ ; hoc est, ut sinus duplicatæ distantie lunæ à quadraturis ductus in  $\frac{Pp}{PG}$  ad radium duplicatum: summa omnium vari-

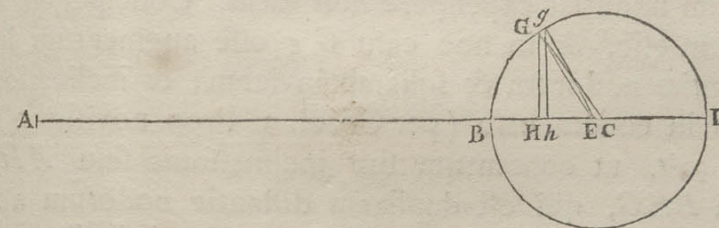
ationum horiarum, quo tempore luna in hoc situ nodorum transit a quadratura ad syzygiam (id est, spatio horarum  $177\frac{1}{2}$ ) erit ad summam totidem angulorum  $33''. 10'''$ .  $33^{iv}$ , seu  $5878''$ , ut summa omnium sinuum duplicatæ distantie lunæ à quadraturis ducta in  $\frac{Pp}{PG}$  ad summam totidem diametrorum; hoc est, ut diameter ducta

in  $\frac{Pp}{PG}$  ad circumferentiam; id est, si inclinatio sit  $58^\circ 1'$ , ut  $7 \times \frac{374}{10000}$  ad  $22$ , seu  $278$  ad  $10000$ . Proindeque variatio tota, ex summa omnium horiarum variationum tempore prædicto conflata, est  $163''$ , seu  $2'. 43''$ .

## PROPOSITIO XXXV. PROBLEMA XVI.

Dato tempore invenire inclinationem orbis lunaris ad planum eclipticæ.

Sit  $AD$  sinus inclinationis maximæ, &  $AB$  sinus inclinationis minimæ. Bifecetur  $BD$  in  $C$ , & centro  $C$ , intervallo  $BC$  describatur circulus  $BGD$ . In  $AC$  capiatur  $CE$  in ea ratione ad  $EB$  quam



$EB$  habet ad  $2BA$ : et si dato tempore constituatur angulus  $AEG$  æqualis duplicatæ distantie nodorum à quadraturis, & ad  $AD$  demittatur perpendicularum  $GH$ : erit  $AH$  sinus inclinationis quæsitæ.

N n n

Nam







medii motus lunæ oriatur a varia dilatatione orbis lunæ per vim solis, juxta Corol. 6. Prop. LXVI. Lib. I. Hæc vis in perigæo solis major est, & orbem lunæ dilatat; in apogæo ejus minor est, & orbem illum contrahi permittit. In orbe dilatato luna tardius revolvitur, in contracto citius; & æquatio annua, per quam hæc inæqualitas compensatur, in apogæo & perigæo solis nulla est, in mediocri solis a terra distantia ad  $11'. 50''$  circiter ascendit, in aliis locis æquationi centri solis proportionalis est; & additur medio motui lunæ ubi terra pergit ab aphelio suo ad perihelium, & in opposita orbis parte subducitur. Assumendo radium orbis magni 1000 & eccentricitatem terræ  $16\frac{1}{2}$ , hæc æquatio, ubi maxima est, per theoriam gravitatis prodiit  $11'. 49''$ . Sed eccentricitas terræ paulo major esse videtur, & aucta eccentricitate hæc æquatio augeri debet in eadem ratione. Sit eccentricitas  $16\frac{1}{2}$ , & æquatio maxima erit  $11'. 51''$ .

Inveni etiam quod in perihelio terræ, propter majorem vim solis, apogæum & nodi lunæ velocius moventur quam in aphelio ejus, idque in triplicata ratione distantie terræ a sole inverſe. Et inde oriuntur æquationes annuæ horum motuum æquationi centri solis proportionales. Motus autem solis est in duplicata ratione distantie terræ a sole inverſe, & maxima centri æquatio, quam hæc inæqualitas generat, est  $18'. 56'. 20''$  prædictæ solis eccentricitati  $16\frac{1}{2}$  congruens. Quod si motus solis effet in triplicata ratione distantie inverſe, hæc inæqualitas generaret æquationem maximam  $28'. 54' 30''$ . Et propterea æquationes maximæ, quas inæqualitates motuum apogæi & nodorum lunæ generant, sunt ad  $28'. 54'. 30''$  ut motus medius diurnus apogæi, & motus medius diurnus nodorum lunæ sunt ad motum medium diurnum solis. Unde prodiit æquatio maxima medii motus apogæi  $19'. 43''$ , & æquatio maxima medii motus nodorum  $9'. 24''$ . Additur vero æquatio prior & subducitur posterior, ubi terra pergit a perihelio suo ad aphelium: & contrarium fit in opposita orbis parte.

Per theoriam gravitatis constitit etiam quod actio solis in lunam paulo major sit, ubi transversa diameter orbis lunaris transit per solem, quam ubi eadem ad rectos est angulos cum linea terram & solem jungente: & propterea orbis lunaris paulo major est in priore casu quam in posteriore. Et hinc oritur alia æquatio motus medii lunaris,

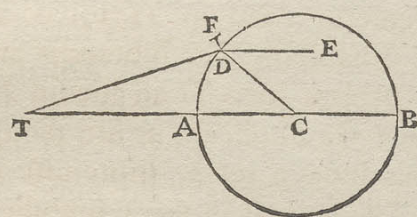
lunaris, pendens a situ apogæi lunæ ad solem, quæ quidem maxima est cum apogæum lunæ versatur in octante cum sole; & nulla cum illud ad quadraturas vel syzygias pervenit: & motui medio additur in transitu apogæi a solis quadratura ad syzygiam, & subducitur in transitu apogæi a syzygia ad quadraturam. Hæc æquatio, quam semestrem vocabo, in octantibus apogæi, quando maxima est, ascendit ad  $3'. 45''$  circiter, quantum ex phænomenis colligere potui. Hæc est ejus quantitas in mediocri solis distantia a terra. Augetur vero ac diminuitur in triplicata ratione distantie solis inverſe, ideoque in maxima solis distantia est  $3'. 34''$ , & in minima  $3'. 56''$  quamproxime: ubi vero apogæum lunæ situm est extra octantes, evadit minor; estque ad æquationem maximam, ut sinus duplæ distantie apogæi lunæ a proxima syzygia vel quadratura ad radium.

Per eandem gravitatis theoriam actio solis in lunam paulo major est ubi linea recta per nodos lunæ ducta transit per solem, quam ubi linea illa ad rectos est angulos cum recta solem ac terram jungente. Et inde oritur alia medii motus lunaris æquatio, quam semestrem secundam vocabo, quæque maxima est ubi nodi in solis octantibus versantur, & evanescit ubi sunt in syzygiis vel quadraturis, & in aliis nodorum positionibus proportionalis est sinui duplæ distantie nodi alterutrius a proxima syzygia aut quadratura: additur vero medio motui lunæ, si sol distat a nodo sibi proximo in antecedentia, subducitur si in consequentia, & in octantibus, ubi maxima est, ascendit ad  $47''$  in mediocri solis distantia a terra, uti ex theoria gravitatis colligo. In aliis solis distantis hæc æquatio maxima in octantibus nodorum est reciproce ut cubus distantie solis a terra, ideoque in perigæo solis ad  $49''$  in apogæo ejus ad  $45''$  circiter ascendit.

Per eandem gravitatis theoriam apogæum lunæ progreditur quam maxime ubi vel cum sole conjungitur vel eidem opponitur, & regreditur ubi cum sole quadraturam facit. Et eccentricitas fit maxima in priore casu & minima in posteriore, per Corol. 7, 8 & 9. Prop. LXVI. Lib. I. Et hæc inæqualitates per eadem Corollaria permagnæ sunt, & æquationem principalem apogæi generant, quam semestrem vocabo. Et æquatio maxima semestris est  $128'. 18'$  circiter, quantum ex observationibus colligere potui. *Horroxius* noster lunam in ellipſi



ellipsi circum terram, in ejus umbilico inferiore constitutam, revolvi primus statuit. *Halleius* centrum ellipseos in epicyclo locavit, cujus centrum uniformiter revolvitur circum terram. Et ex motu in epicyclo oriuntur inæqualitates jam dictæ in progressu & regressu apogæi & quantitate eccentricitatis. Dividi intelligatur distantia mediocri lunæ a terra in partes 100000, & referat *T* terram & *TC* eccentricitatem mediocrem lunæ partium 5505. Producat *TC* ad *B*, ut sit *CB* sinus æquationis maximæ semestris 12<sup>gr</sup>. 18' ad radium *TC*, & circulus *BDA* centro *C*, intervallo *CB* descriptus erit epicyclus ille in quo centrum orbis lunaris locatur & secundum ordinem literarum *BDA* revolvitur. Capiatur angulus *BCD* æqualis duplo argumento annuo, seu duplæ distantia veri loci solis ab apogæo lunæ semel æquato, & erit *CTD* æquatio semestris apogæi lu-



næ & *TD* eccentricitas orbis ejus in apogæum secundo æquatum tendens. Habitis autem lunæ motu medio & apogæo & eccentricitate, ut & orbis axe majore partium 200000; ex his eruatur verus lunæ locus in orbe & distantia ejus a terra, idque per methodos notissimas.

In perihelio terræ, propter majorem vim solis, centrum orbis lunæ velocius movetur circum centrum *C* quam in aphelio, idque in triplicata ratione distantia terræ a sole inverse. Ob æquationem centri solis in argumento annuo comprehensam, centrum orbis lunæ velocius movetur in epicyclo *BDA* in duplicata ratione distantia terræ a sole inverse. Ut idem adhuc velocius moveatur in ratione simplici distantia inverse; ab orbis centro *D* agatur recta *DE* versus apogæum lunæ, seu rectæ *TC* parallela, & capiatur angulus *EDF* æqualis excessui argumenti annui prædicti supra distantiam apogæi lunæ a perigæo solis in consequentia; vel quod perinde est, capiatur angulus

angulus *CDF* æqualis complemento anomalie veræ solis ad gradus 360. Et sit *DF* ad *DC* ut dupla eccentricitas orbis magni ad distantiam mediocrem solis a terra, & motus medius diurnus solis ab apogæo lunæ ad motum medium diurnum solis ab apogæo proprio conjunctim, id est, ut 33<sup>7</sup> ad 1000 & 52'. 27". 16''' ad 59'. 8". 10''' conjunctim, sive ut 3 ad 100. Et concipe centrum orbis lunæ locari in puncto *F*, & in epicyclo, cujus centrum est *D*, & radius *DF*, interea revolvi dum punctum *D* progreditur in circumferentia circuli *DABD*. Hac enim ratione velocitas, qua centrum orbis lunæ in linea quadam curva circum centrum *C* descripta movebitur, erit reciproce ut cubus distantia solis a terra quamproxime, ut oportet.

Computatio motus hujus difficilis est, sed facilius reddetur per approximationem sequentem. Si distantia mediocri lunæ a terra sit partium 100000, & eccentricitas *TC* sit partium 5505 ut supra: recta *CB* vel *CD* invenietur partium 1172<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, & recta *DF* partium 35<sup>1</sup>/<sub>2</sub>. Et hæc recta ad distantiam *TC* subtendit angulum ad terram quem translatio centri orbis a loco *D* ad locum *F* generat in motu centri hujus: & eadem recta duplicata in situ parallelo ad distantiam superioris umbilici orbis lunæ a terra, subtendit eundem angulum, quem utique translatio illa generat in motu umbilici, & ad distantiam lunæ a terra subtendit angulum quem eadem translatio generat in motu lunæ, quique propterea æquatio centri secunda dici potest. Et hæc æquatio, in mediocri lunæ distantia a terra, est ut sinus anguli, quem recta illa *DF* cum recta a puncto *F* ad lunam ducta continet quamproxime, & ubi maxima est evadit 2'. 25". Angulus autem quem recta *DF* & recta a puncto *F* ad lunam ducta comprehendunt, invenitur vel subducendo angulum *EDF* ab anomalia media lunæ, vel addendo distantiam lunæ a sole ad distantiam apogæi lunæ ab apogæo solis. Et ut radius est ad sinum anguli sic inventi, ita 2'. 25". sunt ad æquationem centri secundam, addendam, si summa illa sit minor semicirculo, subducendam si major. Sic habebitur ejus longitudo in ipsis luminarium syzygiis.

Cum atmosphæra terræ ad usque altitudinem milliarium 35 vel 40 refringat lucem solis, & refringendo spargat eandem in umbram terræ, & spargendo lucem in confinio umbræ dilatet umbram: ad diametrum umbræ, quæ per parallaxim prodit, addo minutum unum primum in eclipsibus lunæ, vel minutum unum cum triente.

Theo.







In portu *Plymuthi* æstus maris ex observatione *Samuelis Colepreffi* ad pedes plus minus sexdecim altitudine mediocri attollitur, ac tempore verno & autumnali altitudo æstus in syzygiis superare potest altitudinem ejus in quadraturis pedibus plus septem vel octo. Si maxima harum altitudinum differentia sit pedum novem, erit  $L+S$  ad  $L-S$  ut  $20\frac{1}{2}$  ad  $11\frac{1}{2}$  seu  $41$  ad  $23$ . Quæ proportio satis congruit cum priore. Ob magnitudinem æstus in portu *Bristolæ*, observationibus *Sturmi* magis fidendum esse videtur, ideoque donec aliquid certius constiterit, proportionem  $9$  ad  $5$  usurpabimus.

Cæterum ob aquarum reciprocos motus, æstus maximi non incidunt in ipsas luminarium syzygias, sed sunt tertii a syzygiis ut dictum fuit, seu proxime sequuntur tertium lunæ post syzygias appulsu ad meridianum loci, vel potius (ut a *Sturmio* notatur) sunt tertii post diem novilunii vel plenilunii, seu post horam a novilunio vel plenilunio plus minus duodecimam, ideoque incidunt in horam a novilunio vel plenilunio plus minus quadragesimam tertiam. Incidunt vero in hoc portu in horam septimam circiter ab appulsu lunæ ad meridianum loci; ideoque proxime sequuntur appulsu lunæ ad meridianum, ubi luna distat a sole vel ab oppositione solis gradibus plus minus octodecim vel novemdecim in consequentia. Æstas & hyems maxime vigent, non in ipsis solstitiis, sed ubi sol distat a solstitiis decima circiter parte totius circuitus, seu gradibus plus minus  $36$  vel  $37$ . Et similiter maximus æstus maris oritur ab appulsu lunæ ad meridianum loci, ubi luna distat a sole decima circiter parte motus totius ab æstu ad æstum. Sit distantia illa graduum plus minus  $18\frac{1}{2}$ . Et vis solis in hac distantia lunæ a syzygiis & quadraturis, minor erit ad augendum & ad minuendum motum maris a vi lunæ oriundum, quam in ipsis syzygiis & quadraturis, in ratione radii ad sinum complementi distantiae hujus duplicatæ seu anguli graduum  $37$ , hoc est, in ratione  $10000000$  ad  $7986355$ . Ideoque in analogia superiore pro  $S$  scribi debet  $0,7986355 S$ .

Sed & vis lunæ in quadraturis, ob declinationem lunæ ab æquatore, diminui debet. Nam luna in quadraturis, vel potius in gradu  $18\frac{1}{2}$  post quadraturas, in declinatione graduum plus minus  $22.13'$  versatur. Et luminaris ab æquatore declinantis vis ad mare movendum

vendum diminuitur in duplicata ratione sinus complementi declinationis quamproxime. Et propterea vis lunæ in his quadraturis est tantum  $0,8570327 L$ . Est igitur  $L+0,7986355 S$  ad  $0,8570327 L-0,7986355 S$  ut  $9$  ad  $5$ .

Præterea diametri orbis, in quo luna sine eccentricitate moveri deberet, sunt ad invicem ut  $69$  ad  $70$ ; ideoque distantia lunæ a terra in syzygiis est ad distantiam ejus in quadraturis ut  $69$  ad  $70$ , cæteris paribus. Et distantia ejus in gradu  $18\frac{1}{2}$  a syzygiis, ubi æstus maximus generatur, & in gradu  $18\frac{1}{2}$  a quadraturis, ubi æstus minimus generatur, sunt ad medietatem ejus distantiam ut  $69,098747$  &  $69,897345$  ad  $69\frac{1}{2}$ . Vires autem lunæ ad mare movendum sunt in triplicata ratione distantiarum inverse, ideoque vires in maxima & minima harum distantiarum sunt ad vim in mediocri distantia ut  $0,9830427$  &  $1,017522$  ad  $1$ . Unde fit  $1,017522 L + 0,7986355 S$  ad  $0,9830427 \times 0,8570327 L - 0,7986355 S$  ut  $9$  ad  $5$ . Et  $S$  ad  $L$  ut  $1$  ad  $4,4815$ . Itaque cum vis solis sit ad vim gravitatis ut  $1$  ad  $1286200$ , vis lunæ erit ad vim gravitatis ut  $1$  ad  $2871400$ .

*Corol. 1.* Cum aqua vi solis agitata ascendat ad altitudinem pedis unius & undecim digitorum cum tricesima parte digiti, eadem vi lunæ ascendet ad altitudinem octo pedum & digitorum  $7\frac{1}{2}$ , & vi utraque ad altitudinem pedum decem cum semisse, & ubi luna est in perigæo ad altitudinem pedum duodecim cum semisse & ultra, præsertim ubi æstus ventis spirantibus adjuvatur. Tanta autem vis ad omnes maris motus excitandos abunde sufficit, & quantitati motuum probe respondet. Nam in maribus quæ ab oriente in occidentem late patent, uti in mari *Pacifico*, & maris *Atlantici* & *Æthiopici* partibus extra tropicos, aqua attolli solet ad altitudinem pedum sex, novem, duodecim vel quindecim. In mari autem *Pacifico*, quod profundius est & latius patet, æstus dicuntur esse majores quam in *Atlantico* & *Æthiopico*. Etenim ut plenus sit æstus, latitudo maris ab oriente in occidentem non minor esse debet, quam graduum nonaginta. In mari *Æthiopico* ascensus aquæ intra tropicos minor est quam in zonis temperatis, propter angustiam maris inter *Africam* & australem partem *Americæ*. In medio mari aqua nequit ascendere, nisi ad littus utrumque & orientale & occidentale simul descendat:

O o o 2

cum



cum tamen vicibus alternis ad littora illa in maribus nostris angustis descendere debent. Ea de causa fluxus & refluxus in insulis, quæ a littoribus longissime absunt, perexiguus esset solet. In portubus quibusdam, ubi aqua cum impetu magno per loca vadosa, ad sinus alternis vicibus implendos & evacuandos, influere & effluere cogitur, fluxus & refluxus debent esse solito majores, uti ad *Plymuthum* & pontem *Chepstowæ* in *Anglia*; ad montes *S. Michaelis* & urbem *Abrincatuorum* (vulgo *Auranches*) in *Normannia*; ad *Cambaïam* & *Pegu* in *India* orientali. His in locis mare, magna cum velocitate accedendo & recedendo, littora nunc inundat nunc arida relinquit ad multa millaria. Neque impetus influendi & remeandi prius frangi potest, quam aqua attollitur vel deprimitur ad pedes 30, 40, vel 50 & amplius. Et par est ratio fretorum oblongorum & vadis, uti *Magellanicis* & ejus quo *Anglia* circumdatur. Æstus in hujusmodi portubus & fretis per impetum cursus & recursus supra modum augetur. Ad littora vero quæ descensu præcipiti ad mare profundum & apertum spectant, ubi aqua sine impetu effluendi & remeandi attolli & subsidere potest, magnitudo æstus respondet viribus solis & lunæ.

*Corol. 2.* Cum vis lunæ ad mare movendum sit ad vim gravitatis ut 1 ad 2871400, perspicuum est quod vis illa sit longe minor quam quæ vel in experimentis pendulorum, vel in staticis aut hydrostaticis quibuscunque sentiri possit. In æstu solo marino hæc vis sensibilem edit effectum.

*Corol. 3.* Quoniam vis lunæ ad mare movendum est ad solis vim consimilem ut 4,4815 ad 1, & vires illæ (per corol. 14. prop. LXVI. lib. 1.) sunt ut densitates corporum lunæ & solis & cubi diametrorum apparentium conjunctim; densitas lunæ erit ad densitatem solis ut 4,4815 ad 1 directe, & cubus diametri lunæ ad cubum diametri solis inverse: id est (cum diametri mediocres apparentes lunæ & solis sint 31'. 16'' $\frac{1}{2}$  & 32'. 12'') ut 4891 ad 1000. Densitas autem solis erat ad densitatem terræ ut 1000 ad 4000; & propterea densitas lunæ est ad densitatem terræ ut 4891 ad 4000 seu 11 ad 9. Est igitur corpus lunæ densius & magis terrestre quam terra nostra.

*Corol.*

*Corol. 4.* Et cum vera diameter lunæ ex observationibus astronomicis sit ad veram diametrum terræ ut 100 ad 365; erit massa lunæ ad massam terræ ut 1 ad 39,788.

*Corol. 5.* Et gravitas acceleratrix in superficie lunæ erit quasi triplo minor quam gravitas acceleratrix in superficie terræ.

*Corol. 6.* Et distantia centri lunæ a centro terræ erit ad distantiam centri lunæ a communi gravitatis centro terræ & lunæ, ut 40,788 ad 39,788.

*Corol. 7.* Et mediocris distantia centri lunæ a centro terræ in octantibus lunæ erit semidiametrorum maximarum terræ 60 $\frac{1}{2}$  quamproxime. Nam terræ semidiameter maxima fuit pedum *Parisiensium* 19658600, & mediocris distantia centrorum terræ & lunæ, ex hujusmodi diametris 60 $\frac{1}{2}$  constans, æqualis est pedibus 1187379440. Et hæc distantia (per corollarium superius) est ad distantiam centri lunæ a communi gravitatis centro terræ & lunæ, ut 40,788 ad 39,788: ideoque distantia posterior est pedum 1158268534. Et cum luna revolvatur, respectu fixarum, diebus 27, horis 7, & minutis primis 43 $\frac{1}{2}$ ; sinus versus anguli, quem luna tempore minuti unius primi describit, est 12752341, existente radio 1000,000000,000000. Et ut radius est ad hunc sinum versum, ita sunt pedes 1158268534 ad pedes 14,7706353. Luna igitur vi illa, qua retinetur in orbe, cadendo in terram, tempore minuti unius primi describet pedes 14,7706353. Et augendo hanc vim in ratione 178 $\frac{1}{2}$  ad 177 $\frac{1}{2}$ , habebitur vis tota gravitatis in orbe lunæ per Corol. Prop. III. Et hac vi luna cadendo tempore minuti unius primi describet pedes 14,8538067. Et ad sexagesimam partem distantie lunæ a centro terræ, id est ad distantiam pedum 197896573 a centro terræ, corpus grave tempore minuti unius secundi cadendo describet etiam pedes 14,8538067. Ideoque ad distantiam pedum 19615800, quæ sunt terræ semidiameter mediocris, grave cadendo describet pedes 15,11175, seu pedes 15, dig. 1, & lin. 4 $\frac{1}{4}$ . Hic erit descensus corporum in latitudine graduum 45. Et per tabulam præcedentem in prop. xx. descriptam, descensus erit paulo major in latitudine *Lutetiæ Parisiorum* existente excessu quasi  $\frac{1}{2}$  partium lineæ. Gravia igitur per hoc computum in latitudine *Lutetiæ* cadendo in vacuo describent tempore unius secundi pedes *Parisienses* 15, dig. 1, & lin. 4 $\frac{1}{4}$  circiter. Et si gravitas



tas minuatur auferendo vim centrifugam, quæ oritur a motu diurno terræ in illa latitudine; gravia ibi cadendo describent tempore minuti unius secundi pedes 15, dig. 1, & lin. 14. Et hac velocitate gravia cadere in latitudine *Lutetiae* supra ostensum est ad prop. iv, & xix.

*Corol. 8.* Distantia mediocris centrorum terræ & lunæ in syzygiis lunæ est sexaginta semidiametrorum maximarum terræ, dempta tricesima parte semidiametri circiter. Et in quadraturis lunæ distantia mediocris eorundem centrorum est 60½ semidiametrorum terræ. Nam hæ duæ distantiae sunt ad distantiam mediocrem lunæ in octantibus ut 69 & 70 ad 69½ per prop. xxviii.

*Corol. 9.* Distantia mediocris centrorum terræ & lunæ in syzygiis lunæ est sexaginta semidiametrorum mediocrium terræ cum decima parte semidiametri. Et in quadraturis lunæ distantia mediocris eorundem centrorum est sexaginta & unius semidiametrorum mediocrium terræ, dempta tricesima parte semidiametri.

*Corol. 10.* In syzygiis lunæ parallaxis ejus horizontalis mediocris in latitudinibus graduum 0, 30, 38, 45, 52, 60, 90, est 57'. 20'', 57'. 16'', 57'. 14'', 57'. 12'', 57'. 10'', 57'. 8'', 57'. 4'' respective.

In his computationibus attractionem magneticam terræ non consideravi, cujus utique quantitas perparva est & ignoratur. Siquando vero hæc attractio investigari poterit, & mensuræ graduum in meridiano, ac longitudes pendulorum isochronorum in diversis parallelis, legesque motuum maris, & parallaxis lunæ cum diametris apparentibus solis & lunæ ex phænomenis accuratius determinatæ fuerint: licebit calculum hunc omnem accuratius repetere.

## PROPOSITIO XXXVIII. PROBLEMA XIX.

*Invenire figuram corporis lunæ.*

Si corpus lunare fluidum esset ad instar maris nostri, vis terræ ad fluidum illud in partibus & citimis & ultimis elevandum esset ad vim lunæ, qua mare nostrum in partibus & sub luna & lunæ oppositis attollitur, ut gravitas acceleratrix lunæ in terram ad gravitatem acceleratricem terræ in lunam, & diameter lunæ ad diametrum terræ conjunctim;

conjunctim; id est, ut 39,788 ad 1 & 100 ad 365 conjunctim, seu 1081 ad 100. Unde cum mare nostrum vi lunæ attollatur ad pedes 8½, fluidum lunare vi terræ attolli deberet ad pedes 93. Eaque de causa figura lunæ sphærois esset, cujus maxima diameter producta transiret per centrum terræ, & superaret diametros perpendiculares excessu pedum 186. Talem igitur figuram luna affectat, eamque sub initio induere debuit. *Q. E. I.*

*Corol.* Inde vero fit ut eadem semper lunæ facies in terram obvertatur. In alio enim situ corpus lunare quiescere non potest, sed ad hunc situm oscillando semper redibit. Attamen oscillationes, ob parvitatem virium agitantium, essent longe tardissimæ: adeo ut facies illa, quæ terram semper respicere deberet, possit alterum orbis lunaris umbilicum (ob rationem in prop. xvii allatam) respicere, neque statim abinde retrahi & in terram converti.

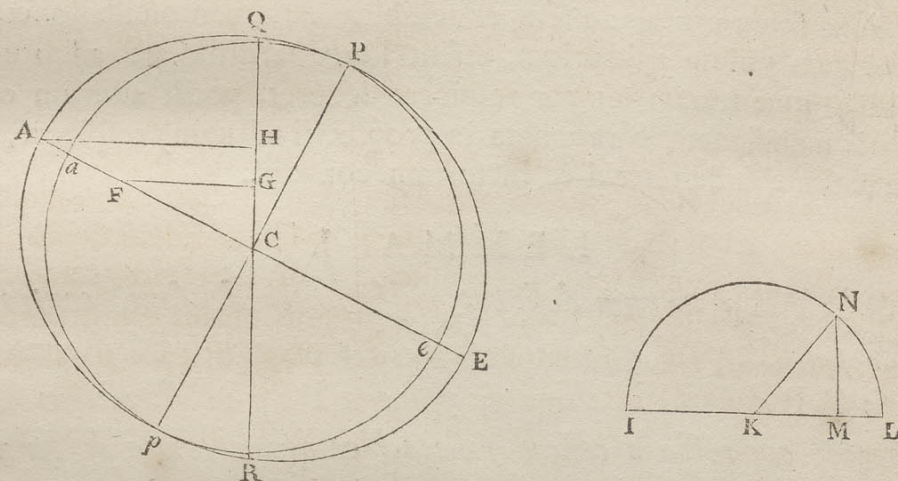
## LEMMA I.

Si *APEp* terram designet uniformiter densam, centroque *C* & polis *P, p* & æquatore *AE* delineatam; & si centro *C* radio *CP* describi intelligatur sphaera *Pape*; sit autem *QR* planum, cui recta a centro solis ad centrum terræ ducta normaliter insistit; & terræ totius exterioris *PapAPEpE*, quæ sphaera modo descripta altior est, particule singulæ conentur recedere hinc inde a plano *QR*, sitque conatus particule cujusque ut ejusdem distantia a plano: Dico primo, quod tota particularum omnium in æquatoris circulo *AE*, extra globum uniformiter per totum circuitum in morem annuli dispositarum, vis & efficacia ad terram circum centrum ejus rotandam, sit ad totam particularum totidem in æquatoris puncto *A*, quod a plano *QR* maxime distat, consistentium vim & efficaciam, ad terram consimili motu circulari circum centrum ejus movendam, ut unum ad duo. Et motus iste circularis circum axem, in communi sectione æquatoris & plani *QR* jacentem, peragetur.

Nam



Nam centro  $K$  diametro  $IL$  describatur semicirculus  $INLK$ . Dividi intelligatur semicircumferentia  $INL$  in partes innumeras æquales, & a partibus singulis  $N$  ad diametrum  $IL$  demittantur sinu  $NM$ . Et summa quadratorum ex sinibus omnibus  $NM$  æqualis erit summæ quadratorum ex sinibus  $KM$ , & summa utraque æqualis erit summæ quadratorum ex totidem semidiametris  $KN$ ; ideoque summa quadratorum ex omnibus  $NM$  erit duplo minor quam summa quadratorum ex totidem semidiametris  $KN$ .



Jam dividatur perimeter circuli  $AE$  in particulas totidem æquales, & ab earum unaquaque  $F$  ad planum  $QR$  demittatur perpendicularum  $FG$ , ut & a puncto  $A$  perpendicularum  $AH$ . Et vis, qua particula  $F$  recedit a plano  $QR$ , erit ut perpendicularum illud  $FG$  per hypothesin, & hæc vis ducta in distantiam  $CG$  erit efficacia particulæ  $F$  ad terram circum centrum ejus convertendam. Ideoque efficacia particulæ in loco  $F$ , erit ad efficaciam particulæ in loco  $A$ , ut  $FG \times GC$  ad  $AH \times HC$ , hoc est, ut  $FCq$  ad  $ACq$ ; & propterea efficacia tota particularum omnium in locis suis  $F$  erit ad efficaciam particularum totidem in loco  $A$ , ut summa omnium  $FCq$  ad summam totidem  $ACq$ , hoc est (per jam demonstrata) ut unum ad duo. *Q. E. D.*

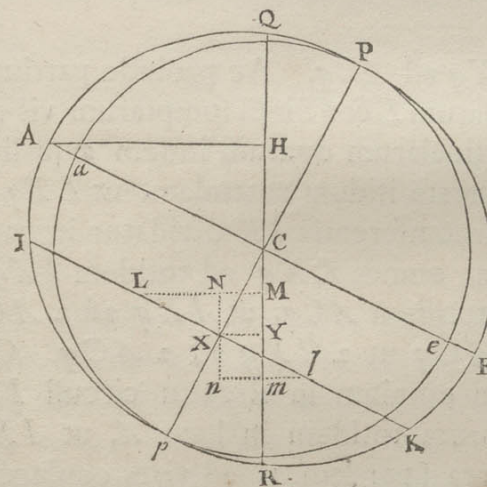
Et quoniam particulæ agunt recedendo perpendiculariter a plano  $QR$ , idque æqualiter ab utraque parte hujus plani: eadem convertent

tent circumferentiam circuli æquatoris, eique inhærentem terram, circum axem tam in plano illo  $QR$  quam in plano æquatoris jacentem. LIBER  
TERTIUS.

## LEMMA II.

*Isdem positis: dico secundo quod vis & efficacia tota particularum omnium extra globum undique sitarum, ad terram circum axem eundem rotandam, sit ad vim totam particularum totidem, in æquatoris circulo  $AE$  uniformiter per totum circuitum in morem annuli dispositarum, ad terram consimili motu circulari movendam, ut duo ad quinque.*

Sit enim  $IK$  circulus quilibet minor æquatori  $AE$  parallelus, sintque  $L, l$  particulæ duæ quævis æquales in hoc circulo extra globum *Pape* sitæ. Et si in planum  $QR$ , quod radio in solem ducto perpendicularare est, demittantur perpendiculara  $LM, lm$ : vires totæ, quibus particulæ illæ fugiunt planum  $QR$ , proportionales erunt perpendicularis illis  $LM, lm$ . Sit autem recta  $Ll$  plano *Pape* parallela &



bisecetur eadem in  $X$ , & per punctum  $X$  agatur  $Nn$ , quæ parallela sit plano  $QR$  & perpendicularis  $LM, lm$  occurrat in  $N$  ac  $n$ , & in planum  $QR$  demittatur perpendicularum  $XT$ . Et particularum  $L$  &  $l$  vires contrariæ, ad terram in contrarias partes rotandam, sunt ut  $LM \times MC$  &  $lm \times mC$ , hoc est, ut  $LN \times MC + NM \times MC$  &  $ln$

P p p

x m







## HYPOTHESIS II.

*Si annulus prædictus terra omni reliqua sublata, solus in orbe terræ, motu annuo circa solem ferretur, & interea circa axem suum, ad planum eclipticæ in angulo graduum  $23\frac{1}{2}$  inclinatum, motu diurno revolveretur: idem foret motus punctorum æquinoctialium, sive annulus iste fluidus esset, sive is ex materia rigida & firma constaret.*

## PROPOSITIO XXXIX. PROBLEMA XX.

*Invenire præcessionem æquinoctiorum.*

Motus mediocris horarius nodorum lunæ in orbe circulari, ubi nodi sunt in quadraturis, erat  $16''$ .  $35'''$ .  $16^{iv}$ .  $36^v$ , & hujus dimidium  $8''$ .  $17'''$ .  $38^{iv}$ .  $18^v$ . (ob rationes supra explicatas) est motus medius horarius nodorum in tali orbe; fitque anno toto sidereo  $208^r$ .  $11'$ .  $46''$ . Quoniam igitur nodi lunæ in tali orbe conficerent annuatim  $208^r$ .  $11'$ .  $46''$  in antecedentia; & si plures essent lunæ, motus nodorum cujusque (per corol. 16. prop. LXVI. lib. 1.) forent ut tempora periodica; si luna spatio diei siderei juxta superficiem terræ revolveretur, motus annuus nodorum foret ad  $208^r$ .  $11'$ .  $46''$  ut dies sidereus horarum  $23$ .  $56'$  ad tempus periodicum lunæ dierum  $27$ .  $7$  hor.  $43'$ ; id est, ut  $1436$  ad  $39343$ . Et par est ratio nodorum annuli lunarum terram ambientis; sive lunæ illæ se mutuo non contingant, sive liquecant & in anulum continuum formentur, sive denique annulus ille rigescat & inflexibilis reddatur.

Fingamus igitur quod annulus iste, quoad quantitatem materiæ, æqualis sit terræ omni *PapAPePE* quæ globo *Pape* superior est; (Vid. fig. pag. 474.) & quoniam globus iste est ad terram illam superiorem ut *aCqu.* ad *ACqu.* — *aCqu.* id est (cum terræ semidiameter minor *PC* vel *aC* sit ad semidiametrum majorem *AC* ut  $229$  ad  $230$ ) ut  $52441$  ad  $459$ ; si annulus iste terram secundum æquatorem cingeret & uterque simul circa diametrum annuli revolveretur, motus annuli esset ad motum globi interioris (per hujus lem. III) ut  $459$  ad  $52441$  &  $1000000$  ad  $925275$  conjunctim, hoc est, ut  $4590$  ad  $485223$ ; ideoque motus annuli esset ad summam motuum annuli ac globi, ut  $4590$  ad  $489813$ . Unde si annulus globo adhæreat, & motum suum, quo

quo ipsius nodi seu puncta æquinoctialia regrediuntur, cum globo communicet: motus qui restabit in annulo erit ad ipsius motum priorem, ut  $4590$  ad  $489813$ ; & propterea motus punctorum æquinoctialium diminuetur in eadem ratione. Erit igitur motus annuus punctorum æquinoctialium corporis ex annulo & globo compositi ad motum  $208^r$ .  $11'$ .  $46''$ , ut  $1436$  ad  $39343$  &  $4590$  ad  $489813$  conjunctim, id est, ut  $100$  ad  $292369$ . Vires autem quibus nodi lunarum (ut supra explicui) atque ideo quibus puncta æquinoctialia annuli regrediuntur (id est vires  $3$  *IT* in fig. pag. 437 & 438) sunt in singulis particulis ut distantia particularum a plano *QR*, & his viribus particula illæ planum fugiunt; & propterea (per lem. II.) si materia annuli per totam globi superficiem in morem figuræ *PapAPePE* ad superiorem illam terræ partem constituendam spargeretur, vis & efficacia tota particularum omnium ad terram circa quamvis æquatoris diametrum rotandam, atque ideo ad movenda puncta æquinoctialia, evaderet minor quam prius in ratione  $2$  ad  $5$ . Ideoque annuus æquinoctiorum regressus jam esset ad  $208^r$ .  $11'$ .  $46''$ , ut  $10$  ad  $73092$ : ac proinde fieret  $9''$ .  $56'''$ .  $50^{iv}$ .

Cæterum hic motus ob inclinationem plani æquatoris ad planum eclipticæ minuendus est, idque in ratione sinus  $91706$  (qui sinus est complementi graduum  $23\frac{1}{2}$ ) ad radium  $100000$ . Qua ratione motus iste jam fiet  $9''$ .  $7'''$ .  $20^{iv}$ . Hæc est annua præcessio æquinoctiorum a vi solis oriunda.

Vis autem lunæ ad mare movendum erat ad vim solis, ut  $44815$  ad  $1$  circiter. Et vis lunæ ad æquinoctia movenda est ad vim solis in eadem proportionem. Indeque prodit annua æquinoctiorum præcessio a vi lunæ oriunda  $40''$ .  $52'''$ .  $52^{iv}$ , ac tota præcessio annua a vi utraque oriunda  $50''$ .  $00'''$ .  $12^{iv}$ . Et hic motus cum phænomenis congruit. Nam præcessio æquinoctiorum ex observationibus astronomicis est annuatim minorum secundorum plus minus quinquaginta.

Si altitudo terræ ad æquatorem superet altitudinem ejus ad polos, milliaribus pluribus quam  $17\frac{1}{2}$ , materia ejus rarior erit ad circumferentiam quam ad centrum: & præcessio æquinoctiorum ob altitudinem illam augeri, ob raritatem diminui debet.

Descripsimus jam systema solis, terræ, lunæ, & planetarum: superest ut de cometis nonnulla adjiciantur.

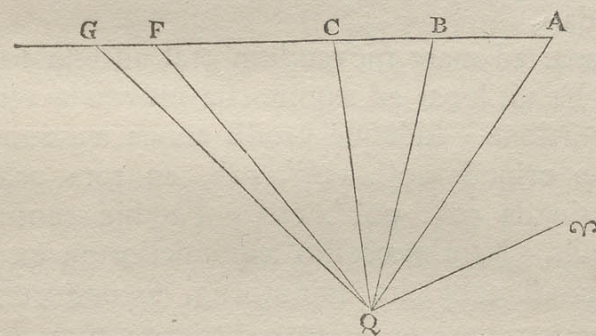
L E M M A



## LEMMA IV.

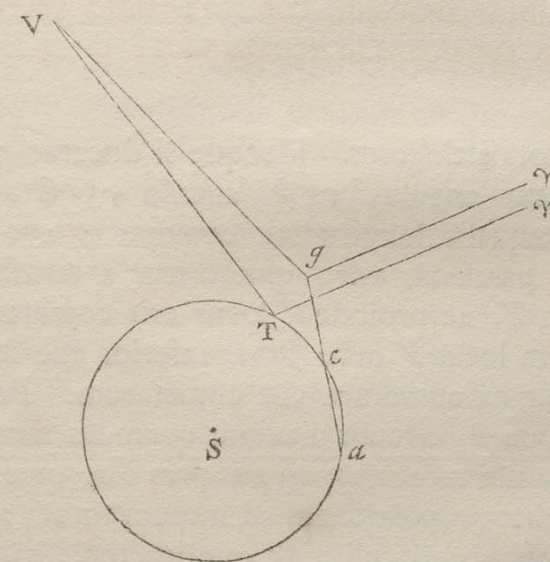
*Cometas esse luna superiores ☾ in regione planetarum versari.*

Ut defectus parallaxeos diurnæ extulit cometas supra regiones sublunares, sic ex parallaxi annua convincitur eorum descensus in regiones planetarum. Nam cometæ, qui progrediuntur secundum ordinem signorum, sunt omnes sub exitu apparitionis aut solito tardiores aut retrogradi, si terra est inter ipsos & solem; at iusto celeriores si terra vergit ad oppositionem. Et contra, qui pergunt contra ordinem signorum sunt iusto celeriores in fine apparitionis, si terra versatur inter ipsos & solem; & iusto tardiores vel retrogradi, si terra sita est ad contrarias partes. Contingit hoc maxime ex motu terræ in vario ipsius situ, perinde ut sit in planetis, qui pro motu terræ vel conspirante vel contrario nunc retrogradi sunt, nunc tardius progredi videntur, nunc vero celerius. Si terra pergit ad eandem partem cum cometa, & motu angulari circa solem tanto celerius fertur, ut recta per terram & cometam perpetuo ducta convergat ad partes ultra cometam, cometa e terra spectatus ob motum suum tardiores apparet esse retrogradus; sin terra tardius fertur,



motus cometæ (detracto motu terræ) fit saltem tardior. At si terra pergit in contrarias partes, cometa exinde velocior apparet. Ex acceleratione autem vel retardatione vel motu retrogrado distantia cometæ in hunc modum colligitur. Sinto  $rQA$ ,  $rQB$ ,  $rQC$  observatæ tres longitudines cometæ sub initio motus, sitque  $rQF$  longi-

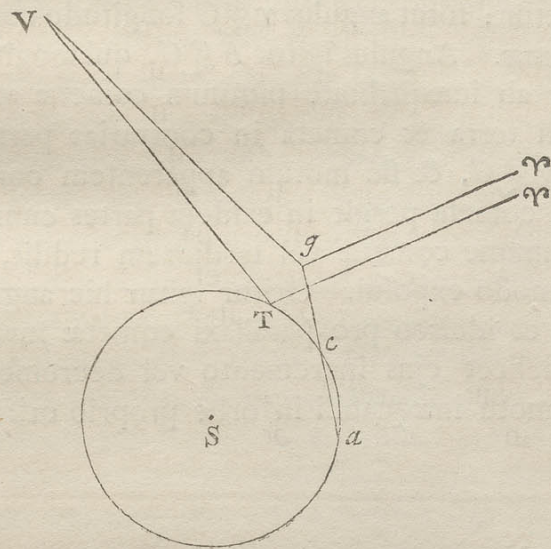
longitudo ultimo observata, ubi cometa videri definit. Agatur recta  $ABC$ , cujus partes  $AB$ ,  $BC$  rectis  $QA$  &  $QB$ ,  $QB$  &  $QC$  interjectæ, sint ad invicem ut tempora inter observationes tres primas. Producat  $AC$  ad  $G$ , ut sit  $AG$  ad  $AB$  ut tempus inter observationem primam & ultimam ad tempus inter observationem primam & secundam, & jungatur  $QG$ . Et si cometa moveretur uniformiter in linea recta, atque terra vel quiesceret, vel etiam in linea recta uniformi cum motu progredieretur; foret angulus  $rQG$  longitudo cometæ tempore observationis ultimæ. Angulus igitur  $FQG$ , qui longitudinum differentia est, oritur ab inæqualitate motuum cometæ ac terræ. Hic autem angulus, si terra & cometa in contrarias partes moventur, additur angulo  $rQG$ , & sic motum apparentem cometæ velociorem reddit: sin cometa pergit in easdem partes cum terra, eidem subducitur, motumque cometæ vel tardiores reddit, vel forte retrogradum; uti modo exposui. Oritur igitur hic angulus præcipue ex motu terræ, & idcirco pro parallaxi cometæ merito habendus est, neglecto videlicet ejus incremento vel decremento nonnullo, quod a cometæ motu inæquabili in orbe proprio oriri possit. Dif-



ferentia vero cometæ ex hac parallaxi sic colligitur. Designet  $S$  solem,  $aT$  orbem magnum,  $a$  locum terræ in observatione prima,  $c$  locum



cum terræ in observatione tertia,  $T$  locum terræ in observatione ultima, &  $Tv$  lineam rectam versus principium arietis ductam. Sumatur angulus  $vTv$  æqualis angulo  $vQF$ , hoc est, æqualis longitudini cometæ ubi terra versatur in  $T$ . Jungatur  $ac$ , & producaturs ea ad  $g$ , ut sit  $ag$  ad  $ac$  ut  $AG$  ad  $AC$ , & erit  $g$  locus quem terra tempore observationis ultimæ, motu in recta  $ac$  unifor-



miter continuato, attingeret. Ideoque si ducatur  $gv$  ipsi  $Tv$  parallela, & capiatur angulus  $rgV$  angulo  $vQG$  æqualis, erit hic angulus  $rgV$  æqualis longitudini cometæ e loco  $g$  spectati; & angulus  $Tvg$  parallaxis erit, quæ oritur a translatione terræ de loco  $g$  in locum  $T$ : ac proinde  $V$  locus erit cometæ in plano eclipticæ. Hic autem locus  $V$  orbe *Jovis* inferior esse solet.

Idem colligitur ex curvatura viæ cometarum. Pergunt hæc corpora propemodum in circulis maximis quamdiu moventur celerius; at in fine cursus, ubi motus apparentis pars illa, quæ a parallaxi oritur, majorem habet proportionem ad motum totum apparentem, deflectere solent ab his circulis, & quoties terra movetur in unam partem, abire in partem contrariam. Oritur hæc deflexio maxime ex parallaxi, propterea quod respondet motui terræ; & insignis ejus quantitas, meo computo, collocavit dispartes cometas satis longe infra

infra jovem. Unde consequens est quod in perigæis & periheliis, ubi propius adsunt, descendunt sæpius infra orbes martis & inferiorum planetarum. LIBER  
TERTIUS.

Confirmatur etiam propinquitas cometarum ex luce capitum. Nam corporis coelestis a sole illustrati & in regiones longinquas abeuntis, diminuitur splendor in quadruplicata ratione distantiae: in duplicata ratione videlicet ob auctam corporis distantiam a sole, & in alia duplicata ratione ob diminutam diametrum apparentem. Unde si detur & lucis quantitas & apparens diametrum cometæ, dabitur distantia, dicendo quod distantia sit ad distantiam planetæ, in ratione diametri ad diametrum directæ & ratione subduplicata lucis ad lucem inverse. Sic minima capillitii cometæ anni 1682 diametrum, per tubum opticum sexdecim pedum a *Flamstedio* observata & micrometro mensurata, æquabat  $2'.0''$ ; nucleus autem seu stella in medio capitis vix decimam partem latitudinis hujus occupabat, ideoque lata erat tantum  $11''$  vel  $12''$ . Luce vero & claritate capitis superabat caput cometæ anni 1680, stellasque primæ vel secundæ magnitudinis æmulabatur. Ponamus saturnum cum annulo suo quasi quadruplo lucidiorem fuisse: & quoniam lux annuli propemodum æquabat lucem globi intermedii, & diametrum apparens globi sit quasi  $21''$ , ideoque lux globi & annuli conjunctim æquaret lucem globi, cujus diametrum esset  $30''$ : erit distantia cometæ ad distantiam saturni ut 1 ad  $\sqrt{4}$  inverse, &  $12''$  ad  $30''$  directæ, id est, ut 24 ad 30 seu 4 ad 5. Rursus cometa anni 1665 mense aprili, ut auctor est *Hévelius*, claritate sua pene fixas omnes superabat, quinetiam ipsum saturnum, ratione coloris videlicet longe vividioris. Quippe lucidior erat hic cometa altero illo, qui in fine anni præcedentis apparuerat, & cum stellis primæ magnitudinis conferabatur. Latitudo capillitii erat quasi  $6'$ , at nucleus cum planetis ope tubi optici collatus plane minor erat jove, & nunc minor corpore intermedio saturni, nunc ipsi æqualis judicabatur. Porro cum diametrum capillitii cometarum raro superet  $8'$  vel  $12'$ , diametrum vero nuclei, seu stellæ centralis sit quasi decima vel forte decima quinta pars diametri capillitii, patet stellas hæc ut plurimum ejusdem esse apparentis magnitudinis cum planetis. Unde cum lux earum cum luce saturni non raro conferri possit, eamque aliquando superet; manifestum



festum est, quod cometæ omnes in periheliis vel infra saturnum collocandi sint, vel non longe supra. Errant igitur toto cœlo, qui cometæ in regionem fixarum prope ablegant: qua certe ratione non magis illustrari deberent a sole nostro, quam planetæ, qui hic sunt, illustrantur a stellis fixis.

Hæc disputavimus non considerando obscuracionem cometarum per fumum illum maxime copiosum & crassum, quo caput circumdatur, quasi per nubem obtusè semper lucens. Nam quanto obscurius redditur corpus per hunc fumum, tanto propius ad solem accedat necesse est, ut copia lucis a se reflexæ planetas æmuletur. Inde verisimile fit cometas longe infra sphæram saturni descendere, uti ex parallaxi probavimus. Idem vero quam maxime confirmatur ex caudis. Hæ vel ex reflexione fumi sparsi per æthera, vel ex luce capitis oriuntur. Priore casu minuenda est distantia cometarum, ne fumus a capite semper ortus per spatia nimis ampla incredibili cum velocitate & expansione propagetur. In posteriore referenda est lux omnis tam caudæ quam capillitii ad nucleum capitis. Igitur si concipiamus lucem hanc omnem congregari & intra discum nuclei coarctari, nucleus ille jam certe, quoties caudam maximam & fulgentissimam emittit, jovem ipsum splendore suo multum superabit. Minore igitur cum diametro apparente plus lucis emittens, multo magis illustrabitur a sole, ideoque erit soli multo propior. Quinetiam capita sub sole delitescunt, & caudas cum maximas tum fulgentissimas instar trabium ignitarum nonnunquam emittentia, eodem argumento infra orbem veneris collocari debent. Nam lux illa omnis si in stellam congregari supponatur, ipsam venerem ne dicam veneres plures conjunctas quandoque superaret.

Idem denique colligitur ex luce capitis crescente in recessu cometarum a terra solem versus, ac decrescente in eorum recessu a sole versus terram. Sic enim cometa posterior anni 1665 (observante *Hevelio*) ex quo conspici cœpit, remittebat semper de motu suo apparente, ideoque præterierat perigæum; splendor vero capitis nihilominus indies crescebat, usque dum cometa radiis solaribus obtectus desiit apparere. Cometa anni 1683 (observante eodem *Hevelio*) in fine mensis julii, ubi primum conspectus est, tardissime movebatur, minuta prima 40 vel 45 circiter singulis diebus in orbe suo

suo conficiens. Ex eo tempore motus ejus diurnus perpetuo augebatur usque ad *Sept. 4.* quando evasit graduum quasi quinque. Igitur toto hoc tempore cometa ad terram appropinquabat. Id quod etiam ex diametro capitis micrometro mensurata colligitur: quippe quam *Hevelius* reperit *Aug. 6.* esse tantum 6'. 5'' inclusa coma, at *Sept. 2.* esse 9'. 7''. Caput igitur initio longe minus apparuit quam in fine motus, at initio tamen in vicinia solis longe lucidius extitit quam circa finem, ut refert idem *Hevelius*. Proinde toto hoc tempore, ob recessum ipsius a sole, quoad lumen decrevit, non obstante accessu ad terram. Cometa anni 1618 circa medium mensis *Decembris*, & iste anni 1680 circa finem ejusdem mensis, celerrime movebantur, ideoque tunc erant in perigæis. Verum splendor maximus capitis contigit ante duas fere septimanas, ubi modo exierant de radiis solaribus; & splendor maximus caudarum paulo ante, in majore vicinitate solis. Caput cometæ prioris, juxta observationes *Cysati*, *Decemb. 1.* majus videbatur stellis primæ magnitudinis, & *Decemb. 16.* (jam in perigæo existens) magnitudine parum, splendore seu claritate luminis plurimum defecerat. *Jan. 7.* *Keplerus* de capite incertus finem fecit observandi. Die 12 mensis *Decemb.* conspectum & a *Flamstedio* observatum est caput cometæ posterioris in distantia novem graduum a sole; id quod stellæ tertiæ magnitudinis vix concessum fuisset. *Decemb. 15* & 17 apparuit idem ut stella tertiæ magnitudinis, diminutum utique splendore nubium juxta solem occidentem. *Decemb. 26.* velocissime motus, inque perigæo propemodum existens, cedebat ori pegasi, stellæ tertiæ magnitudinis. *Jan. 3.* apparebat ut stella quartæ, *Jan. 9.* ut stella quintæ, *Jan. 13.* ob splendorem lunæ crescentis disparuit. *Jan. 25.* vix æquabat stellas magnitudinis septimæ. Si sumantur æqualia a perigæo hinc inde tempora, capita quæ temporibus illis in longinquis regionibus posita, ob æquales a terra distantias, æqualiter lucere debuissent, in plaga solis maxime splenduerunt, ex altera perigæi parte evanuerunt. Igitur ex magna lucis in utroque situ differentia, concluditur magna solis & cometæ vicinitas in situ priore. Nam lux cometarum regularis esse solet, & maxima apparere ubi capita velocissime moventur, atque ideo sunt in perigæis; nisi quatenus ea major est in vicinia solis.

Q q q 2

Corol.



*Corol. 1.* Splendent igitur cometæ luce solis a se reflexa.

*Corol. 2.* Ex dictis etiam intelligitur cur cometæ tantopere frequentant regionem solis. Si cernerentur in regionibus longe ultra saturnum, deberent sæpius apparere in partibus soli oppositis. Forent enim terræ viciniore, qui in his partibus versarentur; & sol interpositus obscuraret cæteros. Verum percurrendo historias cometarum, reperi quod quadruplo vel quintuplo plures detecti sunt in hemisphærio solem versus, quam in hemisphærio opposito, præter alios proculdubio non paucos, quos lux solaris obtexit. Nimirum in descensu ad regiones nostras neque caudas emittunt, neque adeo illustrantur a sole, ut nudis oculis se prius detegendos exhibeant, quam sint ipso jove propiores. Spatii autem tantillo intervallo circa solem descripti pars longe major sita est a latere terræ, quod solem respicit; inque parte illa majore cometæ, soli ut plurimum viciniore, magis illuminari solent.

*Corol. 3.* Hinc etiam manifestum est, quod cœli resistentia destituuntur. Nam cometæ vias obliquas & nonnunquam cursui planetarum contrarias secuti, moventur omnifariam liberrime, & motus suos, etiam contra cursum planetarum diutissime conservant. Fallor ni genus planetarum sint, & motu perpetuo in orbem redeant. Nam quod scriptores aliqui meteora esse volunt, argumentum a capitum perpetuis mutationibus ducentes, fundamento carere videtur. Capita cometarum atmosphæris ingentibus cinguntur; & atmosphæræ inferne densiores esse debent. Unde nubes sunt, non ipsa cometarum corpora, in quibus mutationes illæ visuntur. Sic terra si e planetis spectaretur, luce nubium suarum proculdubio splenderet, & corpus firmum sub nubibus prope delitesceret. Sic cingula jovis in nubibus planetæ illius formata sunt, quæ situm mutant inter se, & firmum jovis corpus per nubes illas difficilius cernitur. Et multo magis corpora cometarum sub atmosphæris & profundioribus & crassioribus abscondi debent.

PRO.

## PROPOSITIO XL. THEOREMA XX.

*Cometas in sectionibus conicis umbilicos in centro solis habentibus moveri, & radiis ad solem ductis areas temporibus proportionales describere.*

Patet per corol. 1. prop. XIII. libri primi, collatum cum prop. VIII, XII, & XIII. libri tertii.

*Corol. 1.* Hinc si cometæ in orbem redeunt; orbes erunt ellipses, & tempora periodica erunt ad tempora periodica planetarum in axium principalium ratione sesquuplicata. Ideoque cometæ maxima ex parte supra planetas versantes, & eo nomine orbes axibus majoribus describentes, tardius revolvuntur. Ut si axis orbis cometæ sit quadruplo major axe orbis saturni, tempus revolutionis cometæ erit ad tempus revolutionis saturni, id est, ad annos 30, ut  $4\sqrt{4}$  (seu 8) ad 1, ideoque erit annorum 240.

*Corol. 2.* Orbes autem erunt parabolæ adeo finitimi, ut eorum vice parabolæ sine erroribus sensibilibus adhiberi possint.

*Corol. 3.* Et propterea (per corol. 7. prop. XVI. lib. 1.) velocitas cometæ omnis, erit semper ad velocitatem planetæ cujusvis circa solem in circulo revolventis, in subduplicata ratione duplæ distantie planetæ a centro solis, ad distantiam cometæ a centro solis quamproxime. Ponamus radium orbis magni, seu ellipseos in qua terra revolvitur semidiametrum maximam esse partium 100000000; & terra motu suo diurno mediocri describet partes 1720212, & motu horario partes 71675½. Ideoque cometa in eadem telluris a sole distantia mediocri, ea cum velocitate quæ sit ad velocitatem telluris ut  $\sqrt{2}$  ad 1, describet motu suo diurno partes 2432747, & motu horario partes 101364½. In majoribus autem vel minoribus distantis, motus tum diurnus tum horarius erit ad hunc motum diurnum & horarium in subduplicata ratione distantiarum reciproce, ideoque datur.

*Corol. 4.* Unde si latus rectum parabolæ quadruplo majus sit radio orbis magni, & quadratum radii illius ponatur esse partium 100000000; area quam cometa radio ad solem ducto singulis diebus describit, erit



erit partium 1216373 $\frac{1}{2}$ , & singulis horis area illa erit partium 50682 $\frac{1}{2}$ . Sin latus rectum majus sit vel minus in ratione quavis, erit area diurna & horaria major vel minor in eadem ratione subduplicata.

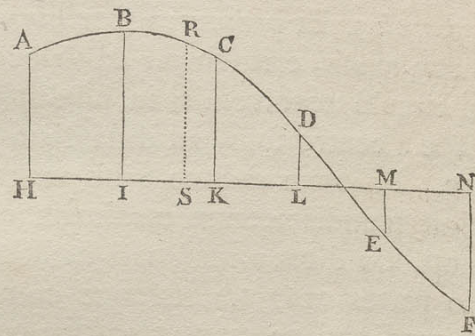
## LEMMA V.

*Invenire lineam curvam generis parabolici, quæ per data quotcunque puncta transibit.*

Sunto puncta illa  $A, B, C, D, E, F$ , &c. & ab iisdem ad rectam quamvis positione datam  $HN$  demitte perpendiculara quotcunque  $AH, BI, CK, DL, EM, FN$ .

*Cas. 1.* Si punctorum  $H, I, K, L, M, N$  æqualia sunt intervalla  $HI, IK, KL$ , &c. collige perpendicularorum  $AH, BI, CK$ , &c. differentias primas  $b, 2b, 3b, 4b, 5b$ , &c. secundas  $c, 2c, 3c, 4c$ , &c. tertias  $d, 2d, 3d$ , &c. id est, ita ut sit  $AH - BI = b, BI - CK = 2b, CK - DL = 3b, DL - EM = 4b, -EM - FN = 5b$ , &c. dein  $b -$

$b \quad 2b \quad 3b \quad 4b \quad 5b$   
 $c \quad 2c \quad 3c \quad 4c$   
 $d \quad 2d \quad 3d$   
 $e \quad 2e$   
 $f$



$2b = c$ , &c. & sic pergatur ad differentiam ultimam, quæ hic est  $f$ . Deinde erecta quacunque perpendiculari  $RS$ , quæ fuerit ordinatim applicata ad curvam quæsitam: ut inveniatur hujus longitudo, pone intervalla  $HI, IK, KL, LM$ , &c. unitates esse, & dic  $AH = a, -HS = p, \frac{1}{2}p$  in  $-IS = q, \frac{1}{3}q$  in  $+SK = r, \frac{1}{4}r$  in  $+SL = s, \frac{1}{5}s$  in  $+SM = t$ ; pergendo videlicet ad usque penultimum perpendicularum  $ME$ , & præponendo signa negativa terminis  $HS, IS$ , &c. qui jacent

jacent ad partes puncti  $S$  versus  $A$ , & signa affirmativa terminis  $SK, SL$ , &c. qui jacent ad alteras partes puncti  $S$ . Et signis probe observatis, erit  $RS = a + bp + cq + dr + es + ft$ , &c.

*Cas. 2.* Quod si punctorum  $H, I, K, L$ , &c. inæqualia sint intervalla  $HI, IK$ , &c. collige perpendicularorum  $AH, BI, CK$ , &c. differentias primas per intervalla perpendicularorum divisas  $b, 2b, 3b, 4b, 5b$ ; secundas per intervalla bina divisa  $c, 2c, 3c, 4c$ , &c. tertias per intervalla terna divisas  $d, 2d, 3d$ , &c. quartas per intervalla quaterna divisas  $e, 2e$ , &c. & sic deinceps; id est, ita ut sit  $b = \frac{AH - BI}{HI}$ ,  $2b = \frac{BI - CK}{IK}$ ,  $3b = \frac{CK - DL}{KL}$ , &c. dein  $c = \frac{b - 2b}{HK}$ ,  $2c = \frac{2b - 3b}{IL}$ ,  $3c = \frac{3b - 4b}{KM}$ , &c. postea  $d = \frac{c - 2c}{HL}$ ,  $2d = \frac{2c - 3c}{IM}$ , &c.

Inventis differentiis, dic  $AH = a, -HS = p, p$  in  $-IS = q, q$  in  $+SK = r, r$  in  $+SL = s, s$  in  $+SM = t$ ; pergendo scilicet ad usque perpendicularum penultimum  $ME$ , & erit ordinatim applicata  $RS = a + bp + cq + dr + es + ft$ , &c.

*Corol.* Hinc areae curvarum omnium inveniri possunt quamproxime. Nam si curvæ cujusvis quadrandæ inveniatur puncta aliquot, & parabola per eadem duci intelligatur: erit area parabolæ hujus eadem quamproxime cum area curvæ illius quadrandæ. Potest autem parabola per methodos notissimas semper quadrari Geometrice.

## LEMMA VI.

*Ex observatis aliquot locis cometæ invenire locum ejus ad tempus quodvis intermedium datum.*

Designent  $HI, IK, KL, LM$  tempora inter observationes (in fig. præced.)  $HA, IB, KC, LD, ME$  observatas quinque longitudes cometæ,  $HS$  tempus datum inter observationem primam & longitudinem quæsitam. Et si per puncta  $A, B, C, D, E$  duci intelligatur curva regularis  $ABCDE$ ; & per lemma superius inveniatur ejus ordinatim applicata  $RS$ , erit  $RS$  longitudo quæsitæ.

Eadem methodo ex observatis quinque latitudinibus invenitur latitudo ad tempus datum.

Si

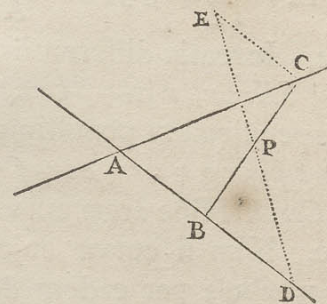


Si longitudinum observatarum parvæ sint differentiæ, puta graduum tantum 4 vel 5; suffecerint observationes tres vel quatuor ad inveniendam longitudinem & latitudinem novam. Sin majores sint differentiæ, puta graduum 10 vel 20, debebunt observationes quinque adhiberi.

## LEMMA VII.

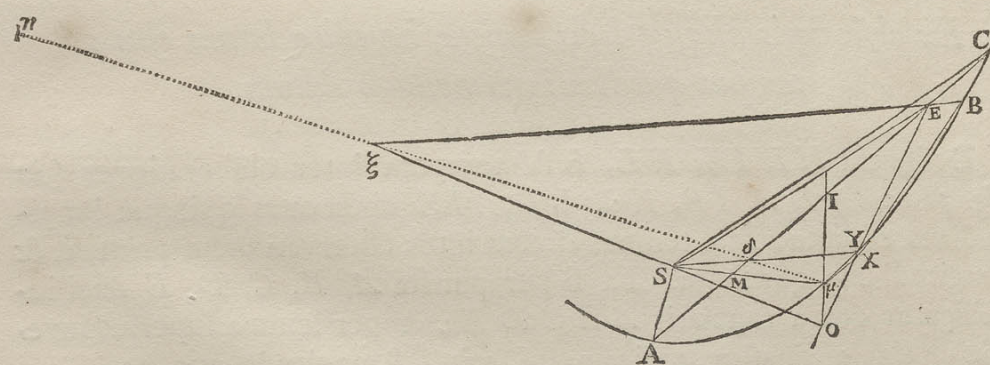
Per datum punctum  $P$  ducere rectam lineam  $BC$ , cujus partes  $PB$ ,  $PC$ , rectis duabus positione datis  $AB$ ,  $AC$  abscissæ, datam habeant rationem ad invicem.

A puncto illo  $P$  ad rectarum alterutram  $AB$  ducatur recta quævis  $PD$ , & producat eadem versus rectam alteram  $AC$  usque ad  $E$ , ut fit  $PE$  ad  $PD$  in data illa ratione. Ipsi  $AD$  parallela fit  $EC$ ; & si agatur  $CPB$ , erit  $PC$  ad  $PB$  ut  $PE$  ad  $PD$ . *Q. E. F.*



## LEMMA VIII.

Sit  $ABC$  parabola umbilicum habens  $S$ . Chorda  $AC$  bi-



secta in  $I$  abscindatur segmentum  $ABCI$ , cujus diameter sit  $I\mu$

$I\mu$  vertex  $\mu$ . In  $I\mu$  producta capiatur  $\mu O$  æqualis dimidio ipsius  $I\mu$ . Jungatur  $OS$ , & producat eam ad  $\xi$ , ut sit  $S\xi$  æqualis  $2SO$ . Et si cometa  $B$  moveatur in arcu  $CBA$ , & agatur  $\xi B$  secans  $AC$  in  $E$ : dico quod punctum  $E$  abscindet de chorda  $AC$  segmentum  $AE$  tempori proportionale quamproxime.

Jungatur enim  $EO$  secans arcum parabolicum  $ABC$  in  $\gamma$ , & agatur  $\mu X$ , quæ tangat eundem arcum in vertice  $\mu$ , & actæ  $EO$  occurrat in  $X$ ; & erit area curvilinea  $AEX\mu A$  ad aream curvilineam  $ACT\mu A$  ut  $AE$  ad  $AC$ . Ideoque cum triangulum  $ASE$  sit ad triangulum  $ASC$  in eadem ratione, erit area tota  $ASEX\mu A$  ad aream totam  $ASCT\mu A$  ut  $AE$  ad  $AC$ . Cum autem  $\xi O$  sit ad  $SO$  ut 3 ad 1, &  $EO$  ad  $XO$  in eadem ratione, erit  $SX$  ipsi  $EB$  parallela: & propterea si jungatur  $BX$ , erit triangulum  $SEB$  triangulo  $XEB$  æquale. Unde si ad aream  $ASEX\mu A$  addatur triangulum  $EXB$ , & de summa auferatur triangulum  $SEB$ , manebit area  $ASBX\mu A$  areæ  $ASEX\mu A$  æqualis, atque ideo ad aream  $ASCT\mu A$  ut  $AE$  ad  $AC$ . Sed areæ  $ASBX\mu A$  æqualis est area  $ASBT\mu A$  quamproxime, & hæc area  $ASBT\mu A$  est ad aream  $ASCT\mu A$ , ut tempus descripti arcus  $AB$  ad tempus descripti arcus totius  $AC$ . Ideoque  $AE$  est ad  $AC$  in ratione temporum quamproxime. *Q. E. D.*

*Corol.* Ubi punctum  $B$  incidit in parabolæ verticem  $\mu$ , est  $AE$  ad  $AC$  in ratione temporum accurate.

*Scholium.*

Si jungatur  $\mu\xi$  secans  $AC$  in  $\delta$ , & in ea capiatur  $\xi n$ , quæ sit ad  $\mu B$  ut 27  $MI$  ad 16  $M\mu$ : acta  $Bn$  secabit chordam  $AC$  in ratione temporum magis accurate quam prius. Jaceat autem punctum  $n$  ultra punctum  $\xi$ , si punctum  $B$  magis distat a vertice principali parabolæ quam punctum  $\mu$ ; & citra, si minus distat ab eodem vertice.

Rrr

LEMMA



## LEMMA IX.

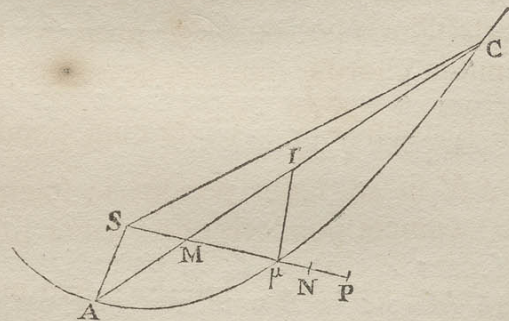
Rectæ  $I\mu$  &  $\mu M$  & longitudo  $\frac{AIC}{4S\mu}$  æquantur inter se.

Nam  $4S\mu$  est latus rectum parabolæ pertinens ad verticem  $\mu$ .

## LEMMA X.

Si producat  $S\mu$  ad  $N$  &  $P$ , ut  $\mu N$  sit pars tertia ipsius  $\mu I$ , &  $SP$  sit ad  $SN$  ut  $SN$  ad  $S\mu$ . Cometa, quo tempore describit arcum  $A\mu C$ , si progredieretur ea semper cum velocitate quam habet in altitudine ipsi  $SP$  æquali, describeret longitudinem æqualem chordæ  $AC$ .

Nam si cometa velocitate, quam habet in  $\mu$ , eodem tempore progredieretur uniformiter in recta, quæ parabolam tangit in  $\mu$ ; area, quam radio ad punctum  $S$  ducto describeret, æqualis esset area parabolicae  $ASC\mu$ . Ideoque contentum sub longitudine in tangente descripta & longitudine  $S\mu$  esset ad contentum sub longitudinibus  $AC$  &  $SM$ , ut area  $ASC\mu$  ad triangulum  $ASC$ , id est, ut  $SN$



ad  $SM$ . Quare  $AC$  est ad longitudinem in tangente descriptam, ut  $S\mu$  ad  $SN$ . Cum autem velocitas cometæ in altitudine  $SP$  sit (per corol. 6. prop. xvi. lib. i.) ad ejus velocitatem in altitudine  $S\mu$ , in subduplicata ratione  $SP$  ad  $S\mu$  inverse, id est, in ratione  $S\mu$  ad  $SN$ ; longitudo hac velocitate eodem tempore descripta, erit ad longitudinem

gitudinem in tangente descriptam, ut  $S\mu$  ad  $SN$ . Igitur  $AC$  & longitudo hac nova velocitate descripta, cum sint ad longitudinem in tangente descriptam in eadem ratione, æquantur inter se. Q. E. D.

Corol. Cometa igitur ea cum velocitate, quam habet in altitudine  $S\mu + \frac{1}{2}I\mu$ , eodem tempore describeret chordam  $AC$  quamproxime.

LIBER  
TERTIUS.

## LEMMA XI.

Si cometa motu omni privatus de altitudine  $SN$  seu  $S\mu + \frac{1}{2}I\mu$  demitteretur, ut caderet in solem, & ea semper vi uniformiter continuata urgeretur in solem, qua urgetur sub initio; idem semisse temporis, quo in orbe suo describat arcum  $AC$ , descensu suo describeret spatium longitudini  $I\mu$  æquale.

Nam cometa, quo tempore describat arcum parabolicum  $AC$ , eodem tempore ea cum velocitate, quam habet in altitudine  $SP$  (per lemma novissimum) describet chordam  $AC$ , ideoque (per corol. 7. prop. xvi. lib. i.) eodem tempore in circulo, cujus semidiameter esset  $SP$ , vi gravitatis suæ revolvendo, describeret arcum, cujus longitudo esset ad arcus parabolici chordam  $AC$ , in subduplicata ratione unitatis ad binarium. Et propterea eo cum pondere, quod habet in solem in altitudine  $SP$ , cadendo de altitudine illa in solem, describeret semisse temporis illius (per corol. 9. prop. iv. lib. i.) spatium æquale quadrato semissis chordæ illius applicato ad quadruplum altitudinis  $SP$ , id est, spatium  $\frac{AIq}{4SP}$ . Unde cum pondus cometæ in solem in altitudine  $SN$  sit ad ipsius pondus in solem in altitudine  $SP$ , ut  $SP$  ad  $S\mu$ : cometa pondere quod habet in altitudine  $SN$  eodem tempore, in solem cadendo, describet spatium  $\frac{AIq}{4S\mu}$ , id est, spatium longitudini  $I\mu$  vel  $M\mu$  æquale. Q. E. D.

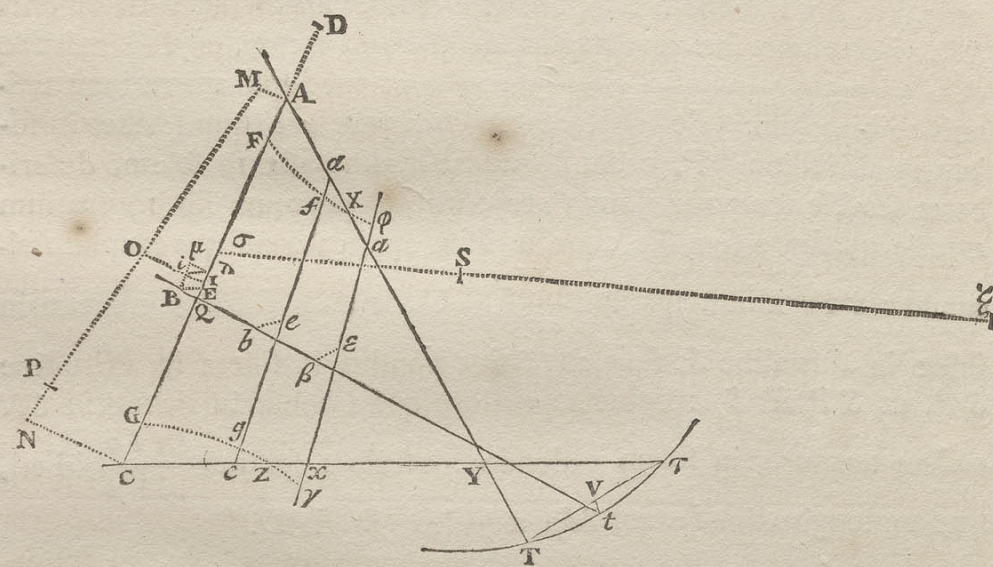


## PROPOSITIO XLI. PROBLEMA XXI.

*Cometæ in parabola moti trajectorym ex datis tribus observationibus determinare.*

Problema hocce longe difficillimum multimode aggressus, composui problemata quædam in libro primo, quæ ad ejus solutionem spectant. Postea solutionem sequentem paulo simpliciore excogitavi.

Seligantur tres observationes æqualibus temporum intervallis ab invicem quamproxime distantes. Sit autem temporis intervallum illud, ubi cometa tardius movetur, paulo majus altero, ita videlicet ut temporum differentia sit ad summam temporum, ut summa temporum ad dies plus minus sexcentos; vel ut punctum  $E$  (in fig. lem. viii.)



incidat in punctum  $M$  quamproxime, & inde aberret versus  $I$  potius quam versus  $A$ . Si tales observationes non præsto sint, inveniendus est novus cometæ locus per lemma sextum.

Designent

Designent  $S$  solem,  $T, t, \tau$  tria loca terræ in orbe magno,  $TA, tB, \tau C$  observatas tres longitudines cometæ,  $V$  tempus inter observationem primam & secundam,  $W$  tempus inter secundam ac tertiam,  $X$  longitudinem, quam cometa toto illo tempore ea cum velocitate, quam habet in mediocri telluris a sole distantia, describere posset, quæque (per corol. 3. prop. xl. lib. iii.) invenienda est, &  $tV$  perpendicularum in chordam  $T\tau$ . In observata longitudine media  $tB$  sumatur utcumque punctum  $B$  pro loco cometæ in plano eclipticæ, & inde versus solem  $S$  ducatur linea  $BE$ , quæ sit ad sagittam  $tV$ , ut contentum sub  $SB$  &  $St$  quad. ad cubum hypotenuse trianguli rectanguli, cujus latera sunt  $SB$  & tangens latitudinis cometæ in observatione secunda ad radium  $tB$ . Et per punctum  $E$  agatur (per hujus lem. vii.) recta  $AEC$ , cujus partes  $AE, EC$ , ad rectas  $TA$  &  $\tau C$  terminatæ, sint ad invicem ut tempora  $V$  &  $W$ : & erunt  $A$  &  $C$  loca cometæ in plano eclipticæ in observatione prima ac tertia quamproxime, si modo  $B$  sit locus ejus recte assumptus in observatione secunda.

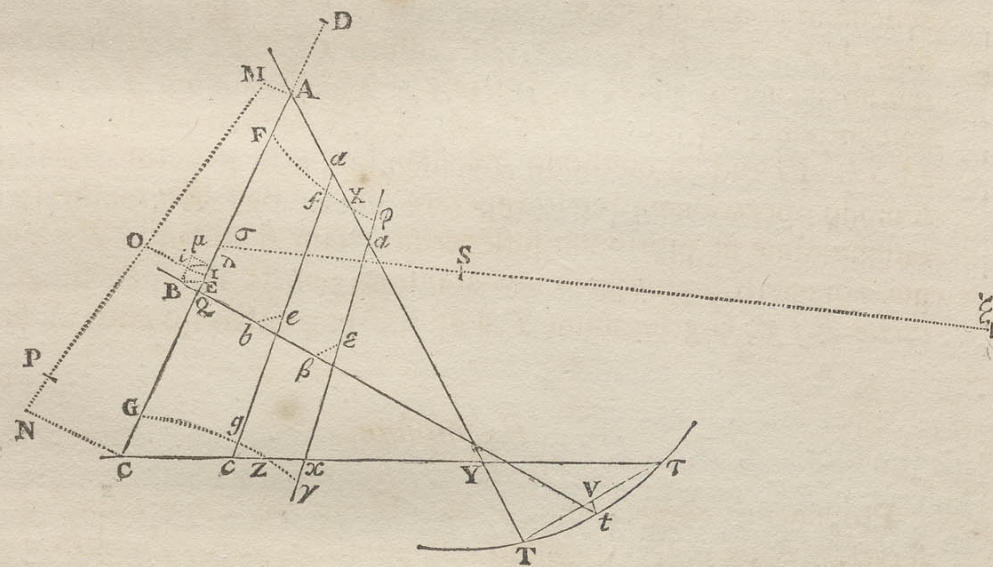
Ad  $AC$  bisectam in  $I$  erige perpendicularum  $Ii$ . Per punctum  $B$  age occultam  $Bi$  ipsi  $AC$  parallelam. Junge occultam  $Si$  secantem  $AC$  in  $\lambda$ , & comple parallelogrammum  $iI\lambda\mu$ . Cape  $I\sigma$  æqualem  $3I\lambda$ , & per solem  $S$  age occultam  $\sigma\xi$  æqualem  $3S\sigma + 3i\lambda$ . Et deletis jam literis  $A, E, C, I$ , a puncto  $B$  versus punctum  $\xi$  duc occultam novam  $BE$ , quæ sit ad priorem  $BE$  in duplicata ratione distantie  $BS$  ad quantitatem  $S\mu + \frac{1}{2}i\lambda$ . Et per punctum  $E$  iterum duc rectam  $AEC$  eadem lege ac prius, id est, ita ut ejus partes  $AE$  &  $EC$  sint ad invicem, ut tempora inter observationes  $V$  &  $W$ . Et erunt  $A$  &  $C$  loca cometæ magis accurate.

Ad  $AC$  bisectam in  $I$  erigantur perpendiculara  $AM, CN, IO$ , quorum  $AM$  &  $CN$  sint tangentes latitudinum in observatione prima ac tertia ad radios  $TA$  &  $\tau C$ . Jungatur  $MN$  fecans  $IO$  in  $O$ . Constituatur rectangulum  $iI\lambda\mu$  ut prius. In  $IA$  producta capiatur  $ID$  æqualis  $S\mu + \frac{1}{2}i\lambda$ . Deinde in  $MN$  versus  $N$  capiatur  $MP$ , quæ sit ad longitudinem supra inventam  $X$ , in subduplicata ratione mediocris distantie telluris a sole (seu semidiametri orbis magni) ad distantiam  $OD$ . Si punctum  $P$  incidat in punctum  $N$ ; erunt  $A, B, C$  tria loca cometæ, per quæ orbis ejus in plano



plano eclipticæ describi debet. Sin punctum  $P$  non incidat in punctum  $N$ ; in recta  $AC$  capiatur  $CG$  ipsi  $NP$  æqualis, ita ut puncta  $G$  &  $P$  ad easdem partes rectæ  $NC$  jaceant.

Eadem methodo, qua puncta  $E, A, C, G$ , ex assumpto puncto  $B$  inventa sunt, inveniuntur ex assumptis utcumque punctis aliis  $b$  &  $\beta$  puncta nova  $e, a, c, g$ , &  $\epsilon, \alpha, \gamma$ . Deinde si per  $G, g, \gamma$  ducatur circumferentia circuli  $Gg\gamma$ , secans rectam  $\tau C$  in  $Z$ : erit  $Z$  locus cometæ in plano eclipticæ. Et si in  $AC, ac, \alpha\gamma$  capiantur  $AF, af, a\phi$  ipsis  $CG, cg, \gamma\gamma$  respective æquales, & per puncta  $F, f$ ,



$\phi$  ducatur circumferentia circuli  $Ff\phi$ , secans rectam  $AT$  in  $X$ ; erit punctum  $X$  alius cometæ locus in plano eclipticæ. Ad puncta  $X$  &  $Z$  erigantur tangentes latitudinum cometæ ad radios  $TX$  &  $\tau Z$ ; & habebuntur loca duo cometæ in orbe proprio. Denique (per prop. xix. lib. i.) umbilico  $S$ , per loca illa duo describatur parabola, & hæc erit trajectory cometæ. *Q. E. I.*

Constructionis hujus demonstratio ex lemmatibus consequitur: quippe cum recta  $AC$  secetur in  $E$  in ratione temporum, per lemma vii, ut oportet per lem. viii: &  $BE$  per lem. xi. sit pars rectæ  $BS$  vel  $B\xi$  in plano eclipticæ arcui  $ABC$  & chordæ  $AEC$  interjecta; &  $MP$  (per corol. lem. x.) longitudo sit chordæ arcus, quem  
cometa

cometa in orbe proprio inter observationem primam ac tertiam describere debet, ideoque ipsi  $MN$  æqualis fuerit, si modo  $B$  sit verus cometæ locus in plano eclipticæ.

Cæterum puncta  $B, b, \beta$  non quælibet, sed vero proxima eligere convenit. Si angulus  $AQt$ , in quo vestigium orbis in plano eclipticæ descriptum secat rectam  $tB$ , præterpropter innotescat; in angulo illo ducenda erit recta occulta  $AC$ , quæ sit ad  $\frac{4}{3} T\tau$  in subduplicata ratione  $SQ$  ad  $St$ . Et agendo rectam  $SEB$ , cujus pars  $EB$  æquetur longitudini  $Vt$ , determinabitur punctum  $B$  quod prima vice usurpare licet. Tum recta  $AC$  deleta & secundum præcedentem constructionem iterum ducta, & inventa insuper longitudine  $MP$ ; in  $tB$  capiatur punctum  $b$ , ea lege, ut si  $TA, \tau C$  se mutuo secuerint in  $T$ , sit distantia  $Tb$  ad distantiam  $TB$ , in ratione composita ex ratione  $MP$  ad  $MN$  & ratione subduplicata  $SB$  ad  $Sb$ . Et eadem methodo inveniendum erit punctum tertium  $\beta$  si modo operationem tertio repetere lubet. Sed hac methodo operationes duæ ut plurimum suffecerint. Nam si distantia  $Bb$  perexigua obvenierit; postquam inventa sunt puncta  $F, f$  &  $G, g$ , actæ rectæ  $Ff$  &  $Gg$  secabunt  $TA$  &  $\tau C$  in punctis quæsitis  $X$  &  $Z$ .

*Exemplum.*

Proponatur cometa anni 1680. Hujus motum a *Flamstedio* observatum & ex observationibus computatum, atque ab *Halleio* ex iisdem observationibus correctum, tabula sequens exhibet.

1680.



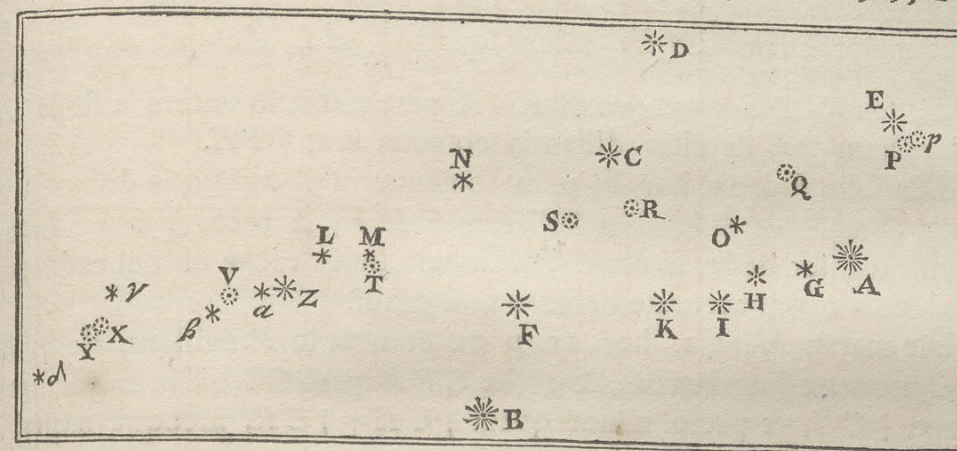
		Tem. appar.	Tem. verum.	Long. Solis.	Cometæ Longitudo.	Cometæ Lat. bor.
1680. Dec.	12	4. 46	4. 46. 0	0 1. 51. 23	0 6. 32. 30	0 8. 28. 11
	21	6. 32. 1/2	6. 36. 59	11. 6. 44	5. 8. 12	21. 42. 13
	24	6. 12	6. 17. 52	14. 9. 26	18. 49. 23	25. 23. 5
	26	5. 14	5. 20. 44	16. 9. 22	28. 24. 13	27. 0. 52
	29	7. 55	8. 3. 2	19. 19. 43	13. 10. 41	28. 9. 58
1681. Jan.	30	8. 2	8. 10. 26	20. 21. 9	17. 38. 20	28. 11. 53
	5	5. 51	6. 1. 38	26. 22. 18	8. 48. 53	26. 15. 7
	9	6. 49	7. 0. 53	0. 29. 2	18. 44. 4	24. 11. 56
	10	5. 54	6. 6. 10	1. 27. 43	20. 40. 50	23. 43. 52
	13	6. 56	7. 8. 55	4. 33. 20	25. 59. 48	22. 17. 28
Feb.	25	7. 44	7. 58. 42	16. 45. 36	9. 35. 0	17. 56. 30
	30	8. 7	8. 21. 53	21. 49. 58	13. 19. 51	16. 42. 18
	2	6. 20	6. 34. 51	24. 46. 59	15. 13. 53	16. 4. 1
	5	6. 50	7. 4. 41	27. 49. 51	16. 59. 6	15. 27. 3

His adde observationes quasdam e nostris.

	Tem. appar.	Cometæ Longitudo.	Cometæ Lat. bor.
1681. Feb. 25	8. 30'	8 26°. 18'. 35"	12°. 46'. 46"
27	8. 15	27. 4. 30	12. 36. 12
Mar. 1	11. 0	27. 52. 42	12. 23. 40
2	8. 0	28. 12. 48	12. 19. 38
5	11. 30	29. 18. 0	12. 3. 16
7	9. 30	11 0. 4. 0	11. 57. 0
9	8. 30	0. 43. 4	11. 45. 52

Hæ observationes telescipio septupedali, & micrometro filisque in foco telescipii locatis peractæ sunt: quibus instrumentis & positiones fixarum inter se & positiones cometæ ad fixas determinavimus. Designet *A* stellam quartæ magnitudinis in sinistro calcaneo Persei (*Bayero*  $\alpha$ ) *B* stellam sequentem tertie magnitudinis in sinistro pede (*Bayero*  $\zeta$ ) & *C* stellam sextæ magnitudinis (*Bayero*  $n$ ) in talo ejusdem pedis, ac *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I*, *K*, *L*, *M*, *N*, *O*, *Z*,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  stellas alias minores in eodem pede. Sintque *p*, *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*, *U*, *X*, loca

loca cometæ in observationibus supra descriptis: & existente distantia *AB* partium  $80\frac{7}{8}$ , erat *AC* partium  $52\frac{1}{4}$ , *BC*  $58\frac{5}{8}$ , *AD*  $57\frac{1}{2}$ , *BD*  $82\frac{1}{4}$ , *CD*  $23\frac{1}{2}$ , *AE*  $29\frac{1}{4}$ , *CE*  $57\frac{1}{2}$ , *DE*  $49\frac{1}{2}$ , *AI*  $27\frac{1}{2}$ , *BI*  $52\frac{1}{2}$ , *CI*  $36\frac{1}{2}$ , *DI*  $53\frac{1}{2}$ , *AK*  $38\frac{1}{2}$ , *BK* 43, *CK*  $31\frac{1}{2}$ , *FK*



29, *FB* 23, *FC*  $36\frac{1}{2}$ , *AH*  $18\frac{1}{2}$ , *DH*  $50\frac{1}{2}$ , *BN*  $46\frac{1}{2}$ , *CN*  $31\frac{1}{2}$ , *BL*  $45\frac{1}{2}$ , *NL*  $31\frac{1}{2}$ . *HO* erat ad *HI* ut 7 ad 6 & producta transibat inter stellas *D* & *E*, sic ut distantia stellæ *D* ab hac recta esset  $\frac{1}{2}$  *CD*. *LM* erat ad *LN* ut 2 ad 9, & producta transibat per stellam *H*. His determinabantur positiones fixarum inter se.

Tandem *Poundius* noster iterum observavit positiones harum fixarum inter se, & earum longitudes & latitudes in tabulam sequentem retulit.

Fixarum	Longitudes.	Lat. boreæ.
A	8 26. 41. 50	12. 8. 36
B	28. 40. 23	11. 17. 54
C	27. 58. 30	12. 40. 25
E	26. 27. 17	12. 52. 7
F	28. 28. 37	11. 52. 22
G	26. 56. 8	12. 4. 58
H	27. 11. 45	12. 2. 1
I	27. 25. 2	11. 53. 11
K	27. 42. 7	11. 53. 26

Fixarum	Longitudes.	Lat. boreæ.
L	8 29. 33. 34	12. 7. 48
M	29. 18. 54	12. 7. 20
N	28. 48. 29	12. 31. 9
Z	29. 44. 48	11. 57. 13
$\alpha$	29. 52. 3	11. 55. 48
$\beta$	11 0. 8. 23	11. 48. 56
$\gamma$	0. 40. 10	11. 55. 18
$\delta$	1. 3. 20	11. 30. 42

Positiones vero cometæ ad has fixas observabam ut sequitur.

Die veneris *Feb.* 25. ft. vet. hor.  $8\frac{1}{2}$  p. m. cometæ in *p* existentis distantia a stella *E* erat minor quam  $\frac{1}{3}$  *AE*, major quam  $\frac{1}{4}$  *AE*, idemque



oque æqualis  $\frac{1}{4} AE$  proxime; & angulus  $AP E$  nonnihil obtusus erat, sed fere rectus. Nempe si demitteretur ad  $p E$  perpendicularum ab  $A$ , distantia cometæ a perpendicularo illo erat  $\frac{1}{4} p E$ .

Eadem nocte hora  $9\frac{1}{2}$ , cometæ in  $P$  existentis distantia a stella  $E$  erat major quam  $\frac{1}{4} AE$ , minor quam  $\frac{1}{5} AE$ , ideoque æqualis  $\frac{1}{4\frac{1}{2}} AE$ , seu  $\frac{2}{9} AE$  quamproxime. A perpendicularo autem a stella  $A$  ad rectam  $PE$  demisso distantia cometæ erat  $\frac{1}{4} PE$ .

Die solis *Feb.* 27. hor.  $8\frac{1}{2}$  p. m. cometæ in  $Q$  existentis distantia a stella  $O$  æquabat distantiam stellarum  $O$  &  $H$ , & recta  $QO$  producta transibat inter stellas  $K$  &  $B$ . Positionem hujus rectæ ob nubes interuenientes magis accurate definire non potui.

Die martis *Mart.* 1. hor. 11. p. m. cometa in  $R$  existens, stellis  $K$  &  $C$  accurate interjacebat, & rectæ  $CRK$  pars  $CR$  paulo major erat quam  $\frac{1}{2} CK$ , & paulo minor quam  $\frac{1}{2} CK + \frac{1}{4} CR$ , ideoque æqualis  $\frac{1}{2} CK + \frac{1}{8} CR$  seu  $\frac{5}{8} CK$ .

Die mercurii *Mart.* 2. hor. 8. p. m. cometæ existentis in  $S$  distantia a stella  $C$  erat  $\frac{1}{4} FC$  quamproxime. Distantia stellæ  $F$  a recta  $CS$  producta erat  $\frac{1}{4} FC$ ; & distantia stellæ  $B$  ab eadem recta, erat quintuplo major quam distantia stellæ  $F$ . Item recta  $NS$  producta transibat inter stellas  $H$  &  $I$ , quintuplo vel sextuplo propior existens stellæ  $H$  quam stellæ  $I$ .

Die saturni *Mart.* 5. hor.  $11\frac{1}{2}$  p. m. cometa existente in  $T$ , recta  $MT$  æqualis erat  $\frac{1}{2} ML$ , & recta  $LT$  producta transibat inter  $B$  &  $F$ , quadruplo vel quintuplo propior  $F$  quam  $B$ , auferens a  $BF$  quintam vel sextam ejus partem versus  $F$ . Et  $MT$  producta transibat extra spatium  $BF$  ad partes stellæ  $B$ , quadruplo propior existens stellæ  $B$  quam stellæ  $F$ . Erat  $M$  stella perexigua quæ per telescopium videri vix potuit, &  $L$  stella major quasi magnitudinis octavæ.

Die lunæ *Mart.* 7 hor.  $9\frac{1}{2}$  p. m. cometa existente in  $V$ , recta  $Va$  producta transibat inter  $B$  &  $F$ , auferens a  $BF$  versus  $F$   $\frac{1}{4} BF$ , & erat ad rectam  $V\beta$  ut 5 ad 4. Et distantia cometæ a recta  $a\beta$  erat  $\frac{1}{4} V\beta$ .

Die mercurii *Mart.* 9. hora  $8\frac{1}{2}$  p. m. cometa existente in  $X$ , recta  $\gamma X$  æqualis erat  $\frac{1}{4} \gamma\delta$ , & perpendicularum demissum a stella  $\delta$  ad rectam  $\gamma X$  erat  $\frac{1}{4} \gamma\delta$ .

Eadem nocte hora 12, cometa existente in  $Z$ , recta  $\gamma Z$  æqualis erat

erat  $\frac{1}{4} \gamma\delta$ , aut paulo minor, puta  $\frac{1}{5} \gamma\delta$ , & perpendicularum demissum a stella  $\delta$  ad rectam  $\gamma Z$  æqualis erat  $\frac{1}{5} \gamma\delta$  vel  $\frac{1}{4} \gamma\delta$  circiter. Sed cometa ob viciniam horizontis cerni vix potuit, nec locus ejus tam distincte ac in præcedentibus definiri.

Ex hujusmodi observationibus per constructiones figurarum & computationes derivabam longitudes & latitudes cometæ, & *Poundius* noster ex correctis fixarum locis loca cometæ correxit, & loca correctæ habentur supra. Micrometro parum affabre constructo usus sum, sed longitudinum tamen & latitudinum errores (quatenus ex observationibus nostris oriantur) minutum unum primum vix superant. Cometa autem (juxta observationes nostras) in fine motus sui notabiliter deflectere coepit boream versus, a parallelo quem in fine mensis *Februarii* tenuerat.

Jam ad orbem cometæ determinandum; selegi ex observationibus hætenus descriptis tres, quas *Flamstedius* habuit *Dec.* 21, *Jan.* 5, & *Jan.* 25. Ex his inveni  $St$  partium 9842,1 &  $Vt$  partium 455, quales 10000 sunt semidiameter orbis magni. Tum ad operationem primam assumendo  $tB$  partium 5657, inveni  $SB$  9747,  $BE$  prima vice 412,  $S\mu$  9503,  $i\lambda$  413:  $BE$  secunda vice 421,  $OD$  10186,  $X$  8528,4  $MP$  8450,  $MN$  8475,  $NP$  25. Unde ad operationem secundam collegi distantiam  $tb$  5640. Et per hanc operationem inveni tandem distantias  $TX$  4775 &  $\tau Z$  11322. Ex quibus orbem definiendo, inveni nodos ejus descendentes in  $\infty$  & ascendentes in  $\omega$  1<sup>st</sup>. 53'; inclinationem plani ejus ad planum eclipticæ 61<sup>st</sup>. 20' $\frac{1}{2}$ ; verticem ejus (seu perihelium cometæ) distare a nodo 8<sup>st</sup>. 38', & esse in  $\pi$  27<sup>st</sup>. 43' cum latitudine australi 7<sup>st</sup>. 34'; & ejus latus rectum esse 236,8, areamque radio ad solem ducto singulis diebus descriptam 93585, quadrato semidiametri orbis magni posito 100000000; cometam vero in hoc orbe secundum seriem signorum processisse, & *Decemb.* 8<sup>d</sup>. 0<sup>h</sup>. 4'. p. m. in vertice orbis seu perihelio fuisse. Hæc omnia per scalam partium æqualium & chordas angulorum ex tabula sinuum naturalium collectas determinavi graphice; construendo schema satis amplum, in quo videlicet semidiameter orbis magni (partium 10000) æqualis esset digitis 16 $\frac{1}{3}$  pedis *Anglicani*.

Tandem ut constaret an cometa in orbe sic invento vere moveretur, collegi per operationes partim arithmeticas partim graphicas loca cometæ in hoc orbe ad observationum quarundam tempora: uti in tabula sequente videre licet.

Siffz

Dec. 12.



DE MUNDI  
SYSTEMATE

	Distant Co net. a Sole	Long. Collect	Lat. Collect	Long. Obs.	Lat. Obs.	Differ. Long.	Differ. Lat.
Dec. 12	2792	gr. 6.32	gr. 8.18 $\frac{1}{2}$	gr. 6.31 $\frac{1}{2}$	gr. 8.26	+1	-7 $\frac{1}{2}$
29	8403	gr. 13.13 $\frac{1}{2}$	gr. 28.0	gr. 13.11 $\frac{1}{2}$	gr. 28.10 $\frac{1}{2}$	+2	-10 $\frac{1}{2}$
Feb. 5	16669	gr. 17.0	gr. 15.29 $\frac{1}{2}$	gr. 16.59 $\frac{1}{2}$	gr. 15.27 $\frac{1}{2}$	+0	+2 $\frac{1}{2}$
Mar. 5	21737	gr. 29.19 $\frac{1}{2}$	gr. 12.4	gr. 29.20 $\frac{1}{2}$	gr. 12.3 $\frac{1}{2}$	-1	+ $\frac{1}{2}$

Postea vero *Halleius* noster orbitam per calculum arithmeticum accuratius determinavit, quam per descriptiones linearum fieri licuit; & retinuit quidem locum nodorum in  $\sigma$  &  $\nu$  1<sup>st</sup>. 53', & inclinationem plani orbitæ ad eclipticam 61<sup>st</sup>. 20 $\frac{1}{2}$ ', ut & tempus perihelii cometæ *Decemb.* 8<sup>d</sup>. 0<sup>h</sup>. 4': distantiam vero perihelii a nodo ascendente in orbita cometæ mensuratum invenit esse 9<sup>st</sup>. 20', & latus rectum parabolæ esse 2430 partium, existente mediocri solis a terra distantia partium 100000. Et ex his datis, calculo itidem arithmetico accurate instituto, loca cometæ ad observationum tempora computavit, ut sequitur.

Tempus verum.	Distantia Cometæ a ☉	Long. comp.	Lat. comp.	Errors in Long.	Errors in Lat.
d. h. m.		gr. m. s.	gr. m. s.		
Dec. 12. 4.46	28028	gr. 6.29.25	gr. 8.26.0 Bor.	-3.5	-2.0
21. 6.37	61076	gr. 5.6.30	gr. 21.43.20	-1.42	+1.7
24. 6.18	70008	gr. 18.48.20	gr. 25.22.40	-1.3	-0.25
26. 5.21	75576	gr. 28.22.45	gr. 27.1.36	-1.28	+0.44
29. 8.3	14021	gr. 13.12.40	gr. 28.10.10	+1.59	+0.12
30. 8.10	86661	gr. 17.40.5	gr. 28.11.20	+1.45	-0.33
Jan. 5. 6. 1 $\frac{1}{2}$	101440	gr. 8.49.49	gr. 26.15.15	+0.56	+0.8
9. 7. 0	110959	gr. 18.44.36	gr. 24.12.54	+0.32	+0.58
10. 6. 6	113162	gr. 20.41.0	gr. 23.44.10	+0.10	+0.18
13. 7. 9	120000	gr. 26.0.21	gr. 22.17.30	+0.33	+0.2
25. 7.59	145370	gr. 9.33.40	gr. 17.57.55	-1.20	+1.25
30. 8.22	155303	gr. 13.17.41	gr. 16.42.7	-2.10	-0.11
Feb. 2. 6.35	160951	gr. 15.11.11	gr. 16.4.15	-2.42	+0.14
5. 7. 4 $\frac{1}{2}$	166686	gr. 16.58.25	gr. 15.29.13	-0.41	+2.10
25. 8.41	202570	gr. 26.15.46	gr. 12.48.0	-2.49	+1.14
Mar. 5. 11.39	216205	gr. 29.18.35	gr. 12.5.40	+0.35	+2.24

Apparuit etiam hic cometa mense *Novembri* præcedente & *Coburgi* in *Saxonia* a D<sup>no</sup>. *Gottfried Kirch* observatus est diebus mensis hujus quarto, sexto & undecimo, stylo veteri; & ex positionibus ejus

LIBER  
TERTIUS.

ejus ad proximas stellas fixas ope telescopii nunc bipedalis nunc decempedalis satis accurate observatis, ac differentia longitudinum *Coburgi* & *Londini* graduum undecim & locis fixarum a *Poundio* nostro observatis, *Halleius* noster loca cometæ determinavit ut sequitur.

*Novem.* 3<sup>d</sup>. 17<sup>h</sup>. 2', tempore apparente *Londini*, cometa erat in  $\Omega$  29<sup>st</sup>. 51' cum lat. bor. 1<sup>st</sup>. 17'. 45''.

*Novem.* 5<sup>d</sup>. 15<sup>h</sup>. 58' cometa erat in  $\nu$  3<sup>st</sup>. 23' cum lat. bor. 1<sup>st</sup>. 6'.

*Novem.* 10<sup>d</sup>. 16<sup>h</sup>. 31' cometa æqualiter distabat a stellis leonis  $\sigma$  ac  $\tau$  *Bayero*; nondum vero attigit rectam easdem jungentem, sed parum abfuit ab ea. In stellarum catalogo *Flamstediano*  $\sigma$  tunc habuit  $\nu$  14<sup>st</sup>. 15' cum lat. bor. 1<sup>st</sup>. 41' fere,  $\tau$  vero  $\nu$  17<sup>st</sup>. 3 $\frac{1}{2}$ , cum lat. austr. 0<sup>st</sup>. 34'. Et medium punctum inter has stellas fuit  $\nu$  15<sup>st</sup>. 39 $\frac{1}{2}$ , cum lat. bor. 0<sup>st</sup>. 33 $\frac{1}{2}$ . Sit distantia cometæ a recta illa 10' vel 12' circiter, & differentia longitudinum cometæ & puncti illius medii erit 7', & differentia latitudinum 7 $\frac{1}{2}$ , circiter. Et inde cometa erat in  $\nu$  15<sup>st</sup>. 32' cum lat. bor. 26' circiter.

Observatio prima ex situ cometæ ad parvas quasdam fixas abunde satis accurata fuit. Secunda etiam satis accurata fuit. In tertia, quæ minus accurata fuit, error minorum sex vel septem subesse potuit, & vix major. Longitudo vero cometæ in observatione prima, quæ cæteris accuratior fuit, in orbe prædicto parabolico computata erat  $\Omega$  29<sup>st</sup>. 30'. 22''. latitudo borealis 1<sup>st</sup>. 25'. 7''. & distantia ejus a sole 115546.

Porro *Halleius* observando quod cometa insignis intervallo annorum 575 quater apparuisset, scilicet mense *Septembri* post cædem *Julii Caesaris*, anno *Christi* 531 *Lampadio* & *Oreste Coss.* anno *Christi* 1106 mense *Februario*, & sub finem anni 1680, idque cum cauda longa & insigni (præterquam quod sub mortem *Caesaris*, cauda ob incommodam telluris positionem minus apparuisset:) quæsit orbem ellipticum cujus axis major esset partium 1382957, existente mediocri distantia telluris a sole partium 100000: in quo orbe utique cometa annis 575 revolvi possit. Et ponendo nodum ascendentem in  $\sigma$  2<sup>st</sup>. 2'; inclinationem plani orbis ad planum eclipticæ 61<sup>st</sup>. 6'. 48''; perihelium cometæ in hoc plano  $\tau$  22<sup>st</sup>. 44'. 25''; tempus æquatum perihelii *Decem.* 7<sup>d</sup>. 23<sup>h</sup>. 9'; distantiam perihelii a nodo



nodo ascendente in plano eclipticæ 9<sup>gr</sup>. 17'. 35"; & axem conjugatum 18481,2: computavit motum cometæ in hoc orbe elliptico. Loca autem ejus tam ex observationibus deducta quam in hoc orbe computata exhibentur in tabula sequente.

Tempus verum	Long. obs.	Lat. obs.	Long. comp.	Lat. comp.	Errores in	
d. h.	gr.	gr.	gr.	gr.	Long.	Lat.
Nov. 3. 16. 47	29. 51. 0	1. 17. 45	29. 51. 22	1. 17. 32 B	+0. 22	-0. 13
5. 15. 37	3. 23. 0	1. 6. 0	3. 24. 32	1. 6. 9	+1. 32	+0. 9
10. 16. 18	15. 32. 0	0. 27. 0	15. 33. 2	0. 25. 7	+1. 2	-1. 53
16. 17. 0			8. 16. 45	0. 53. 7 A		
18. 21. 34			18. 52. 15	1. 26. 54		
20. 17. 0			28. 10. 36	1. 53. 35		
23. 17. 5			13. 22. 42	2. 29. 0		
Dec. 12. 4. 46	6. 32. 30	8. 28. 0	6. 31. 20	8. 29. 6 B	-1. 10	+1. 6
21. 6. 37	5. 8. 12	21. 42. 13	5. 6. 14	21. 44. 42	-1. 58	+2. 29
24. 6. 18	18. 49. 23	25. 23. 5	18. 47. 30	25. 23. 35	-1. 53	+0. 30
26. 5. 21	28. 24. 13	27. 0. 52	28. 21. 42	27. 2. 1	-2. 31	+1. 9
29. 8. 3	13. 10. 41	28. 9. 58	13. 11. 14	28. 10. 38	+0. 33	+0. 40
30. 8. 10	17. 38. 20	28. 11. 53	17. 38. 27	28. 11. 37	+0. 7	-0. 16
Jan. 5. 6. 1½	8. 48. 53	26. 15. 7	8. 48. 51	26. 14. 57	-0. 2	-0. 10
9. 7. 1	18. 44. 4	24. 11. 56	18. 43. 51	24. 12. 17	-0. 13	+0. 21
10. 6. 6	20. 40. 50	23. 43. 32	20. 40. 23	23. 43. 25	-0. 27	-0. 7
13. 7. 9	25. 59. 48	22. 17. 28	26. 0. 8	22. 16. 32	+0. 20	-0. 56
25. 7. 59	9. 35. 0	17. 56. 30	9. 34. 11	17. 56. 6	-0. 49	-0. 24
30. 8. 22	13. 19. 51	16. 42. 18	13. 18. 28	16. 40. 5	-1. 23	-2. 13
Feb. 2. 6. 35	15. 13. 53	16. 4. 1	15. 11. 59	16. 2. 7	-1. 54	-1. 54
5. 7. 4½	16. 59. 6	15. 27. 3	16. 59. 17	15. 27. 0	+0. 11	-0. 3
25. 8. 41	26. 18. 35	12. 46. 46	26. 16. 59	12. 45. 22	-1. 36	-1. 24
Mar. 1. 11. 10	27. 52. 42	12. 23. 40	27. 51. 47	12. 22. 28	-0. 55	-1. 12
5. 11. 39	29. 18. 0	12. 3. 16	29. 20. 11	12. 2. 50	+2. 11	-0. 26
9. 8. 38	0. 43. 4	11. 45. 52	0. 42. 43	11. 45. 35	-0. 21	-0. 17

Observationes cometæ hujus a principio ad finem non minus congruunt cum motu cometæ in orbe jam descripto, quam motus planetarum congruere solent cum eorum theoriis, & congruendo probant unum & eundem fuisse cometam, qui toto hoc tempore apparuit, ejusque orbem hic recte definitum fuisse.

In tabula præcedente omisimus observationes diebus *Novembris* 16, 18, 20 & 23 ut minus accuratas. Nam cometa his etiam temporibus observatus fuit. *Ponthæus* utique & socii, *Novem.* 17. fl. vet. hora sexta matutina *Romæ*, id est, hora 5. 10' *Londini*, filis ad fixas applicatis, cometam observarunt in 8<sup>gr</sup>. 30' cum latitudine australi 0<sup>gr</sup>. 40'. Extant eorum observationes in tractatu, quem *Ponthæus*

*thæus* de hoc cometa in lucem edidit. *Cellius*, qui aderat & observationes suas in epistola ad *D. Cassinum* misit, cometam eadem hora vidit in 8<sup>gr</sup>. 30' cum latitudine australi 0<sup>gr</sup>. 30'. Eadem hora *Galletius Avenioni* (id est, hora matutina 5. 42' *Londini*) cometam vidit in 8<sup>gr</sup> sine latitudine, Cometa autem per theoriam jam fuit in 8<sup>gr</sup>. 16'. 45" cum latitudine australi 0<sup>gr</sup>. 53'. 7".

*Nov.* 18. hora matutina 6. 30' *Romæ* (id est, hora 5. 40' *Londini*) *Ponthæus* cometam vidit in 13<sup>gr</sup>. 30' cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 20'. *Cellius* in 13<sup>gr</sup>. 30' cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 00'. *Galletius* autem hora matutina 5. 30' *Avenioni* cometam vidit in 13<sup>gr</sup>. 00', cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 00'. Et *R. P. Ango* in academia *Flexienfi* apud *Gallos*, hora quinta matutina (id est, hora 5. 9' *Londini*) cometam vidit in medio inter stellas duas parvas, quarum una media est trium in recta linea in virginis australi manu, *Bayero* ψ, & altera est extrema alæ *Bayero* θ. Unde cometa tunc fuit in 12<sup>gr</sup>. 46' cum latitudine australi 50'. Eodem die *Bostoniæ* in *Nova-Anglia* in latitudine 42½ graduum, hora quinta matutina, (id est *Londini* hora matutina 9. 44') cometa visus est prope 14<sup>gr</sup>, cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 30', uti a cl. *Halleio* accepi.

*Nov.* 19. hora mat. 4½ *Cantabrigiæ*, cometa (observante juvene quodam) distabat a spica quasi 2<sup>gr</sup> boreazephyrum versus. Erat autem spica in 19<sup>gr</sup>. 23'. 47" cum lat. austr. 2<sup>gr</sup>. 1'. 59". Eodem die hor. 5. mat. *Bostoniæ* in *Nova-Anglia*, cometa distabat a spica m gradu uno, differentia latitudinum existente 40'. Eodem die in insula *Jamaica*, cometa distabat a spica intervallo quasi gradus unius. Eodem die *D. Arthurus Storer* ad fluvium *Patuxent*, prope *Hunting-Creek* in *Maryland*, in confinio *Virginie* in lat. 38½<sup>gr</sup>, hora quinta matutina (id est, hora 10<sup>a</sup> *Londini*) cometam vidit supra spicam m, & cum spica propemodum conjunctum, existente distantia inter eosdem quasi ¼<sup>gr</sup>. Et ex his observationibus inter se collatis colligo quod hora 9. 44' *Londini* cometa erat in 18<sup>gr</sup>. 50' cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 25' circiter. Cometa autem per theoriam jam erat in 18<sup>gr</sup>. 52'. 15" cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 26'. 54".

*Nov.* 20. *D. Montenarus* astronomiæ professor *Paduensis*, hora sexta matutina *Venetis* (id est, hora 5. 10' *Londini*) cometam vidit in 23<sup>gr</sup>. cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 30'. Eodem die *Bostoniæ*, distabat cometa



cometa a spica  $\alpha$ , 4<sup>gr</sup>. longitudinis in orientem, ideoque erat in  $\alpha$  23<sup>gr</sup>. 24' circiter.

Nov. 21. *Ponthaus* & focii hor. mat. 7 $\frac{1}{2}$  cometam observarunt in  $\alpha$  27<sup>gr</sup>. 50' cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 16', *Cellius* in  $\alpha$  28<sup>gr</sup>. *Ango* hora quinta matutina in  $\alpha$  27<sup>gr</sup>. 45', *Montenarus* in  $\alpha$  27<sup>gr</sup>. 51'. Eodem die in insula *Jamaica* cometa visus est prope principium scorpii, eandemque circiter latitudinem habuit cum spica virginis, id est, 2<sup>gr</sup>. 2'. Eodem die ad horam quintam matutinam *Ballaforæ* in *India Orientali*, (id est ad horam noctis præcedentis 11. 20' *Londini*) capta est distantia cometæ a spica  $\alpha$  7<sup>gr</sup>. 35' in orientem. In linea recta erat inter spicam & lancem, ideoque versabatur in  $\alpha$  26<sup>gr</sup>. 58' cum lat. australi 1<sup>gr</sup>. 11' circiter; & post horas 5 & 40' (ad horam scilicet quintam matutinam *Londini*) erat in  $\alpha$  28<sup>gr</sup>. 12' cum lat. austr. 1<sup>gr</sup>. 16'. Per theoriam vero cometa jam erat in  $\alpha$  28<sup>gr</sup>. 10'. 36'', cum latitudine australi 1<sup>gr</sup>. 53'. 35''.

Nov. 22. Cometa visus est a *Montenaro* in  $m$  2<sup>gr</sup>. 33'. *Bosonia* autem in *Nova-Anglia* apparuit in  $m$  3<sup>gr</sup> circiter, eadem fere cum latitudine ac prius, id est, 1<sup>gr</sup>. 30'. Eodem die ad horam quintam matutinam *Ballaforæ* cometa observabatur in  $m$  1<sup>gr</sup>. 50'; ideoque ad horam quintam matutinam *Londini* cometa erat in  $m$  3<sup>gr</sup>. 5' circiter. Eodem die *Londini* hora mat. 6 $\frac{1}{2}$  *Hookius* noster cometam vidit in  $m$  3<sup>gr</sup>. 30' circiter, idque in linea recta quæ transit per spicam virginis & cor leonis, non exacte quidem, sed a linea illa paululum deflectentem ad boream. *Montenarus* itidem notavit quod linea a cometa per spicam ducta, hoc die & sequentibus transibat per australe latūs cordis leonis, interposito perparvo intervallo inter cor leonis & hanc lineam. Linea recta per cor leonis & spicam virginis transiens, eclipticam secuit in  $m$  3<sup>gr</sup>. 46'; in angulo 2<sup>gr</sup>. 51'. Et si cometa locatus fuisset in hac linea in  $m$  3<sup>gr</sup> ejus latitudo fuisset 2<sup>gr</sup>. 26'. Sed cum cometa consentientibus *Hookio* & *Montenaro*, nonnihil distaret ab hac linea boream versus, latitudo ejus fuit paulo minor. Die 20. ex observatione *Montenari*, latitudo ejus propemodum æquabat latitudinem spicæ  $\alpha$ , eratque 1<sup>gr</sup>. 30' circiter, & consentientibus *Hookio*, *Montenaro* & *Angone* perpetuo augebatur, ideoque jam sensibiliter major erat quam 1<sup>gr</sup>. 30'. Inter limites autem jam constitutos 2<sup>gr</sup>. 26' & 1<sup>gr</sup>. 30', magnitudine mediocri latitudo erit 1<sup>gr</sup>. 58' circiter. Cauda cometæ, consentientibus *Hookio* & *Montenaro*, dirigebatur ad spicam  $\alpha$ , declinans aliquantulum

quantulum a stella ista, juxta *Hookium* in austrum, juxta *Montenarum* in boream; ideoque declinatio illa vix fuit sensibilis, & cauda æquatori fere parallela existens, aliquantulum deflectebatur ab oppositione solis boream versus.

Nov. 23. st. vet. hora quinta matutina *Noriburgi* (id est hora 4 $\frac{1}{2}$  *Londini*) *D. Zimmerman* cometam vidit in  $m$  8<sup>gr</sup>. 8', cum latitudine australi 2<sup>gr</sup>. 31', captis scilicet ejus distantis a stellis fixis.

Nov. 24. Ante ortum solis cometa visus est a *Montenaro* in  $m$  12<sup>gr</sup>. 52', ad boreale latūs rectæ quæ per cor leonis & spicam virginis ducebatur, ideoque latitudinem habuit paulo minorem quam 2<sup>gr</sup>. 38'. Hæc latitudo, uti diximus, ex observationibus *Montenari*, *Angonis* & *Hookii*, perpetuo augebatur; ideoque jam paulo major erat quam 1<sup>gr</sup>. 58'; & magnitudine mediocri, sine notabili errore, statui potest 2<sup>gr</sup>. 18'. Latitudinem *Ponthaus* & *Galletius* jam decrevisse volunt, & *Cellius* & observator in *Nova-Anglia* eandem fere magnitudinem retinuisse, scilicet gradus unius vel unius cum semisse. Crassiores sunt observationes *Ponthæi* & *Cellii*, eæ præsertim quæ per azimuthos & altitudines capiebantur, ut & eæ *Galletii*: meliores sunt eæ quæ per positiones cometæ ad fixas a *Montenaro*, *Hookio*, *Angone* & observatore in *Nova-Anglia*, & nonnunquam a *Ponthæo* & *Cellio* sunt factæ. Eodem die ad horam quintam matutinam *Ballaforæ* cometa observabatur in  $m$  11<sup>gr</sup>. 45'; ideoque ad horam quintam matutinam *Londini* erat in  $m$  13<sup>gr</sup> circiter. Per theoriam vero cometa jam erat in  $m$  13<sup>gr</sup>. 22'. 42''.

Nov. 25. Ante ortum solis *Montenarus* cometam observavit in  $m$  17 $\frac{1}{2}$ <sup>gr</sup> circiter. Et *Cellius* observavit eodem tempore quod cometa erat in linea recta inter stellam lucidam in dextro femore virginis & lancem australem libræ, & hæc recta secat viam cometæ in  $m$  18<sup>gr</sup>. 36'. Per theoriam vero cometa jam erat in  $m$  18 $\frac{1}{2}$ <sup>gr</sup> circiter.

Congruunt igitur hæc observationes cum theoria quatenus congruunt inter se, & congruendo probant unum & eundem fuisse cometam, qui toto tempore a quarto die *Novembris* ad usque nonum *Martii* apparuit. Trajectoria cometæ hujus bis secuit planum eclipticæ, & propterea non fuit rectilinea. Eclipticam secuit non in oppositis cœli partibus, sed in fine virginis & principio capricorni, intervallo graduum 98 circiter; ideoque cursus cometæ plurimum de-

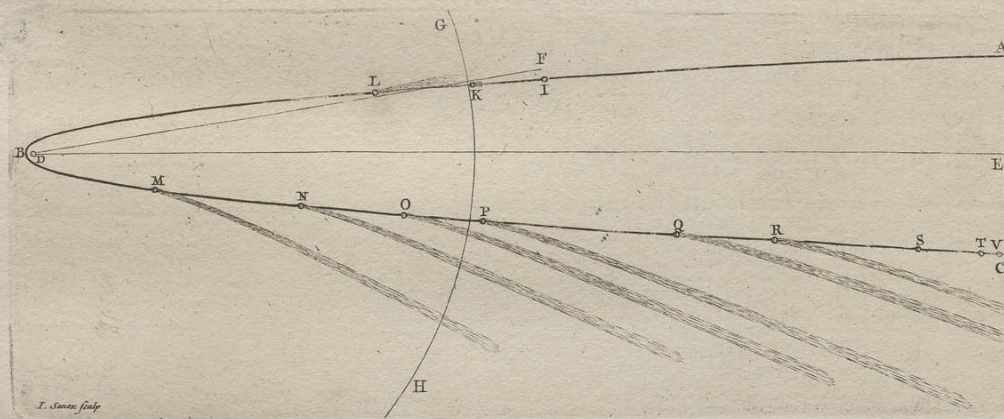
T t t

flecte-



batur a circulo maximo. Nam & mense *Novembri* cursus ejus tribus saltem gradibus ab ecliptica in austrum declinabat, & postea mense *Decembri* gradibus 29 vergebat ab ecliptica in septentrionem partibus duabus orbitæ, in quibus cometa tendebat in solem & redibat a sole, angulo apparente graduum plus triginta ab invicem declinantibus, ut observavit *Montenarus*. Pergebat hic cometa per signa novem, a leonis scilicet ultimo gradu ad principium geminorum, præter signum leonis, per quod pergebat antequam videri cœpit; & nulla alia extat theoria, qua cometa tantam cœli partem motu regulari percurrat. Motus ejus fuit maxime inæquabilis. Nam circa diem vigesimum *Novembris* descripsit gradus circiter quinque singulis diebus; dein motu retardato inter *Novemb. 26* & *Decemb. 12*, spatio scilicet dierum quindecim cum semisse, descripsit gradus tantum 40; postea vero motu iterum accelerato, descripsit gradus fere quinque singulis diebus, antequam motus iterum retardari cœpit. Et theoria, quæ motui tam inæquabili per maximam cœli partem probe respondet, quæque easdem observat leges cum theoria planetarum, & cum accuratis observationibus astronomicis accurate congruit, non potest non esse vera.

Cæterum trajectoriam quam cometa descripsit, & caudam veram



quam singulis in locis projecit, visum est annexo schemate in plano trajectoriæ delineatas exhibere: ubi *ABC* denotat trajectoriam cometæ, *D* solem, *DE* trajectoriæ axem, *DF* lineam nodorum, *GH*

*GH* intersectionem sphaeræ orbis magni cum plano trajectoriæ, *I* LIBER TERTIUS. locum cometæ *Nov. 4. Ann. 1680*, *K* locum ejusdem *Nov. 11*, *L* locum *Nov. 19*, *M* locum *Dec. 12*, *N* locum *Dec. 21*, *O* locum *Dec. 29*, *P* locum *Jan. 5 sequent.* *Q* locum *Jan. 25*, *R* locum *Feb. 5*, *S* locum *Feb. 25*, *T* locum *Mar. 5*, & *V* locum *Mar. 9*. Observationes vero sequentes in cauda definienda adhibui.

*Nov. 4* & *6*. Cauda nondum apparuit. *Nov. 11*. Cauda jam cœpta non nisi semissem gradus unius longa tubo decempedali visa fuit. *Nov. 17*. Cauda gradus amplius quindecim longa *Ponthæo* apparuit. *Nov. 18*. Cauda 30<sup>gr</sup> longa, solique directe opposita in *Nova Anglia* cernebatur, & protendebatur usque ad stellam  $\delta$ , quæ tunc erat in  $\pi$  9<sup>gr</sup>. 54'. *Nov. 19*. In *Maryland* cauda visa fuit gradus 15 vel 20 longa. *Dec. 10*. Cauda (observante *Flamstedio*) transibat per medium distantiam inter caudam serpentis Ophiuchi & stellam  $\delta$  in aquilæ australi ala, & definebat prope stellas *A, \omega, b* in tabulis *Bayeri*. Terminus igitur erat in  $\pi$  19<sup>gr</sup>, cum latitudine boreali 34<sup>gr</sup> circiter. *Dec. 11*. Cauda surgebat ad usque caput sagittæ (*Bayero \alpha, \beta*) definens in  $\pi$  26<sup>gr</sup>. 43', cum latitudine boreali 38<sup>gr</sup>. 34'. *Dec. 12*. Cauda transibat per medium sagittæ, nec longe ultra protendebatur, definens in  $\pi$  48<sup>gr</sup>, cum latitudine boreali 42<sup>gr</sup> circiter. Intelligenda sunt hæc de longitudine caudæ clarioris. Nam luce obscuriore, in cœlo forsan magis sereno, cauda *Dec. 12*, hora 5. 40' *Romæ* (observante *Ponthæo*) supra cygni uropygium ad gradus 10 sese extulit; atque ab hac stella ejus latus ad occasum & boream min. 45 destitit. Lata autem erat cauda his diebus gradus 3, juxta terminum superiorem, ideoque medium ejus distabat a stella illa 2<sup>gr</sup>. 15' austrum versus, & terminus superior erat in  $\pi$  22<sup>gr</sup>, cum latitudine boreali 61<sup>gr</sup>. Et hinc longa erat cauda 70<sup>gr</sup> circiter. *Dec. 21*. Eadem surgebat fere ad cathedram *Cassiopeiæ*, æqualiter distans a  $\beta$  & *Schedir*, & distantiam ab utraque distantiam earum ab invicem æqualem habens, ideoque definens in  $\pi$  24<sup>gr</sup>, cum latitudine 47<sup>gr</sup>. *Dec. 29*. Cauda tangebatur *Scheat* sitam ad sinistram, & intervallum stellarum duarum in pede boreali *Andromedæ* accurate complebat, & longa erat 54<sup>gr</sup>; ideoque definebat in  $\pi$  19<sup>gr</sup>, cum latitudine 35<sup>gr</sup>. *Jan. 5*. Cauda tetigit stellam  $\pi$  in pectore *Andromedæ* ad latus ejus dextrum, & stellam  $\mu$  in ejus cingulo ad latus sinistram; & (juxta observationes nostras)



nostras) longa erat  $4c^{\circ}$ ; curva autem erat & convexo latere spectabat ad austrum. Cum circulo per solem & caput cometæ transeunte angulum confecit graduum 4 juxta caput cometæ; at juxta terminum alterum inclinabatur ad circulum illum in angulo 10 vel 11 graduum & chorda caudæ cum circulo illo continebat angulum graduum octo. Jan. 13. Cauda luce satis sensibili terminabatur inter *Alamech* & *Algol*, & luce tenuissima desinebat e regione stellæ  $\alpha$  in latere *Persei*. Distantia termini caudæ a circulo solem & cometam jungente erat  $3^{\circ}$ .  $50'$ , & inclinatio chordæ caudæ ad circulum illum  $8\frac{1}{2}^{\circ}$ . Jan. 25 & 26. Cauda luce tenui micabat ad longitudinem graduum 6 vel 7; & nocte una & altera sequente ubi cœlum valde ferenum erat, luce tenuissima & ægerrime sensibili attingebat longitudinem graduum duodecim & paulo ultra. Dirigebatur autem ejus axis ad lucidam in humero orientali aurigæ accurate, ideoque declinabat ab oppositione solis boream versus in angulo graduum decem. Denique Feb. 10. caudam oculis armatis aspexi gradus duos longam. Nam lux prædicta tenuior per vitra non apparuit. *Ponthæus* autem Feb. 7. se caudam ad longitudinem graduum 12 vidisse scribit. Feb. 25 & deinceps cometa sine cauda apparuit.

Orbem jam descriptum spectanti & reliqua cometæ hujus phenomena in animo revolventi, haud difficulter constabit, quod corpora cometarum sunt solida, compacta, fixa ac durabilia ad instar corporum planetarum. Nam si nihil aliud essent quam vapores vel exhalationes terræ, solis & planetarum, cometa hicce in transitu suo, per viciniam solis statim dissipari debuisset. Est enim calor solis ut radiorum densitas, hoc est, reciproce ut quadratum distantiae locorum a sole. Ideoque cum distantia cometæ a centro solis Decemb. 8. ubi in perihelio versabatur, esset ad distantiam terræ a centro solis ut 6 ad 1000 circiter, calor solis apud cometam eo tempore erat ad calorem solis æstivi apud nos ut 1000000 ad 36, seu 28000 ad 1. Sed calor aquæ ebullientis est quasi triplo major quam calor quem terra arida concipit ad æstivum solem, ut expertus sum: & calor ferri candentis (si recte conjector) quasi triplo vel quadruplo major quam calor aquæ ebullientis; ideoque calor, quem terra arida apud cometam in perihelio versantem ex radiis solaribus concipere posset, quasi 2000 vicibus major quam calor ferri candentis. Tanto autem calore vapores

vapores & exhalationes, omnisque materia volatilis statim consumi ac dissipari debuissent.

Cometa igitur in perihelio suo calorem immensum ad solem concepit, & calorem illum diutissime conservare potest. Nam globus ferri candentis digitum unum latus, calorem suum omnem spatio horæ unius in aëre consistens vix amitteret. Globus autem major calorem diutius conservaret in ratione diametri, propterea quod superficies (ad cujus mensuram per contactum aëris ambientis refrigeratur) in illa ratione minor est pro quantitate materiæ suæ calidæ inclusæ. Ideoque globus ferri candentis huic terræ æqualis, id est, pedes plus minus 40000000 latus, diebus totidem, & idcirco annis 50000, vix refrigeraret. Suspicio tamen quod duratio caloris, ob causas latentes, augeatur in minore ratione quam ea diametri: & optatim rationem veram per experimenta investigari.

Porro notandum est quod cometa mense *Decembri*, ubi ad solem modo incaluerat, caudam emittebat longe majorem & splendidiorem quam antea mense *Novembri*, ubi perihelium nondum attigerat. Et universaliter caudæ omnes maximæ & fulgentissimæ e cometis oriuntur statim post transitum eorum per regionem solis. Conducit igitur calefactio cometæ ad magnitudinem caudæ. Et inde colligere videor quod cauda nihil aliud sit quam vapor longe tenuissimus, quem caput seu nucleus cometæ per calorem suum emittit.

Cæterum de cometarum caudis triplex est opinio; eas vel jubar esse solis per translucida cometarum capita propagatum, vel oriri ex refractione lucis in progressu ipsius a capite cometæ in terram, vel denique nubem esse seu vaporem a capite cometæ jugiter surgentem & abeuntem in partes a sole averfas. Opinio prima eorum est qui nondum imbuti sunt scientia rerum opticarum. Nam jubar solis in cubiculo tenebroso non cernitur, nisi quatenus lux reflectitur e pulverum & fumorum particulis per aërem semper volitantibus: ideoque in aëre fumis crassioribus infecto splendidius est, & sensum fortius ferit; in aëre clariore tenuius est & ægrius sentitur: in cœlis autem sine materia reflectente nullum esse potest. Lux non cernitur quatenus in jubare est, sed quatenus inde reflectitur ad oculos nostros. Nam visio non fit nisi per radios qui in oculos impingunt. Requiritur igitur materia aliqua reflectens in regione caudæ, ne cœlum



coelum totum luce solis illustratum uniformiter splendeat. Opinio secunda multis premitur difficultatibus. Caudæ nunquam variegantur coloribus: qui tamen refractionum solent esse comites inseparabiles. Lux fixarum & planetarum distincte ad nos transmissa demonstrat medium coeleste nulla vi refractiva pollere. Nam quod dicitur fixas ab *Aegyptiis* cometas nonnunquam visas fuisse, id, quoniam rarissime contingit, ascribendum est nubium refractioni fortuitæ. Fixarum quoque radiatio & scintillatio ad refractiones tum oculorum tum aëris tremuli referendæ sunt: quippe quæ admotis oculo telescopiis evanescent. Aëris & ascendentium vaporum tremore fit, ut radii facile de angusto pupillæ spatio per vices detorqueantur, de latiore autem vitri objectivi apertura neutiquam. Inde est quod scintillatio in priori casu generetur, in posteriore autem cesset: & cessatio in posteriore casu demonstrat regularem transmissionem lucis per coelos sine omni refractione sensibili. Nequis contendat quod caudæ non soleant videri in cometis, cum eorum lux non est satis fortis, quia tunc radii secundarii non habent satis virium ad oculos movendos, & propterea caudas fixarum non cerni: sciendum est quod lux fixarum plus centum vicibus augeri potest mediantibus telescopiis, nec tamen caudæ cernuntur. Planetarum quoque lux copiosior est, caudæ vero nullæ: cometæ autem sæpe caudatissimi sunt, ubi capitum lux tenuis est & valde obtrusa. Sic enim cometa anni 1680, mense *Decembri*, quo tempore caput luce sua vix æquabat stellas secundæ magnitudinis, caudam emittebat splendore notabili usque ad gradus 40, 50, 60 vel 70 longitudinis & ultra: postea *Jan. 27* & 28 caput apparebat ut stella septimæ tantum magnitudinis, cauda vero luce quidem pertenui sed satis sensibili longa erat 6 vel 7 gradus, & luce obscurissima, quæ cerni vix posset, porrigebatur ad gradum usque duodecimum vel paulo ultra: ut supra dictum est. Sed & *Feb. 9* & 10 ubi caput nudis oculis videri desierat, caudam gradus duos longam per telescopium contemplatus sum. Porro si cauda oriretur ex refractione materiæ coelestis, & pro figura coelorum deflesteretur de solis oppositione, deberet deflexio illa in iisdem coeli regionibus in eandem semper partem fieri. Atqui cometa anni 1680 *Decemb. 28*. hora 8½ p.m. *Londini*, versabatur in  $\kappa$  8<sup>gr</sup>. 41', cum latitudine boreali 28<sup>gr</sup>. 6', sole existente in  $\varpi$  18<sup>gr</sup>. 26'. Et cometa

meta anni 1577, *Dec. 29* versabatur in  $\kappa$  8<sup>gr</sup>. 41' cum latitudine boreali 28<sup>gr</sup>. 40', sole etiam existente in  $\varpi$  18<sup>gr</sup>. 26' circiter. Utroque in casu terra versabatur in eodem loco, & cometa apparebat in eadem coeli parte: in priori tamen casu cauda cometæ (ex meis & aliorum observationibus) declinabat angulo graduum 4½ ab oppositione solis aquilonem versus; in posteriore vero (ex observationibus *Tychonis*) declinatio erat graduum 21 in austrum. Igitur repudiata coelorum refractione, superest ut phænomena caudarum ex materia aliqua lucem reflectente deriventur.

Caudas autem a capitibus oriri & in regiones a sole averfas ascendere confirmatur ex legibus quas observant. Ut quod in planis orbium cometarum per solem transeuntibus jacentes, deviant ab oppositione solis in eas semper partes, quas capita in orbibus illis progredientia relinquunt. Quod spectatori in his planis constituto apparent in partibus a sole directe averfis; digrediente autem spectatore de his planis, deviatio paulatim sentitur, & indies apparet major. Quod deviatio cæteris paribus minor est ubi cauda obliquior est ad orbem cometæ, ut & ubi caput cometæ ad solem propius accedit; præsertim si spectetur deviationis angulus juxta caput cometæ. Præterea quod caudæ non deviantes apparent rectæ, deviantes autem incurvantur. Quod curvatura major est ubi major est deviatio, & magis sensibilis ubi cauda cæteris paribus longior est: nam in brevioribus curvatura ægre animadvertitur. Quod deviationis angulus minor est juxta caput cometæ, major juxta caudæ extremitatem alteram, atque ideo quod cauda convexo sui latere partes respicit a quibus fit deviatio, quæque in recta sunt linea a sole per caput cometæ in infinitum ducta. Et quod caudæ quæ prolixiores sunt & latiores, & luce vegetiore micant, sint ad latera convexa paulo splendidiore & limite minus indistincto terminatæ quam ad concava. Pendent igitur phænomena caudæ a motu capitis, non autem a regione coeli in qua caput conspicitur; & propterea non fiunt per refractionem coelorum, sed a capite suppeditante materiam oriuntur. Etenim ut in aëre nostro fumus corporis cujusvis igniti petit superiora, idque vel perpendiculariter si corpus quiescat, vel oblique si corpus moveatur in latus: ita in coelis, ubi corpora gravitant in solem, fumi & vapores ascendere debent a sole (uti jam dictum est)

&amp;



& superiora vel recta petere, si corpus fumans quiescit; vel oblique, si corpus progrediendo loca semper deferit a quibus superiores vaporis partes ascenderant. Et obliquitas ista minor erit ubi ascensus vaporis velocior est: nimirum in vicinia solis & juxta corpus fumans. Ex obliquitatis autem diversitate incurvabitur vaporis columna: & quia vapor in columnæ latere præcedente paulo recentior est, ideo etiam is ibidem aliquanto densior erit, lucemque propterea copiosius reflectet, & limite minus indistincto terminabitur. De caudarum agitationibus subitaneis & incertis, deque earum figuris irregularibus, quas nonnulli quandoque describunt, hic nihil adjicio; propterea quod vel a mutationibus aeris nostri, & motibus nubium caudas aliqua ex parte obscurantium oriantur; vel forte a partibus viæ lacteæ, quæ cum caudis prætereuntibus confundi possint, ac tanquam earum partes spectari.

Vapores autem, qui spatiis tam immensis implendis sufficiant, ex cometarum atmospheris oriri posse, intelligetur ex raritate aeris nostri. Nam aer juxta superficiem terræ spatium occupat quasi 850 partibus majus quam aqua ejusdem ponderis, ideoque aeris columna cylindrica pedes 850 alta ejusdem est ponderis cum aquæ columna pedali latitudinis ejusdem. Columna autem aeris ad summitatem atmospheræ assurgens æquat pondere suo columnam aquæ pedes 33 altam circiter; & propterea si columnæ totius aeræ pars inferior pedum 850 altitudinis dematur, pars reliqua superior æquabit pondere suo columnam aquæ altam pedes 32. Inde vero (per regulam multis experimentis confirmatam, quod compressio aeris sit ut pondus atmospheræ incumbentis, quodque gravitas sit reciproce ut quadratum distantiae locorum a centro terræ) computationem per corol. prop. xxii. lib. II. ineundo, inveni quod aer, si ascendatur a superficie terræ ad altitudinem semidiametri unius terrestris, rarior sit quam apud nos in ratione longe majori, quam spatii omnis infra orbem saturni ad globum diametro digiti unius descriptum. Ideoque globus aeris nostri digitum unum latus, ea cum raritate quam haberet in altitudine semidiametri unius terrestris, impleteret omnes planetarum regiones usque ad spheram saturni & longe ultra. Proinde cum aer adhuc altior in immensum rarefcat; & coma seu atmospheræ cometæ, ascendendo ab illius centro, quasi decuplo altior sit quam

quam superficies nuclei, deinde cauda adhuc altius ascendat, debet cauda esse quam rarissima. Et quamvis ob longe crassiores cometarum atmospheram, magnamque corporum gravitationem solem versus, & gravitationem particularum aeris & vaporum in se mutuo, fieri possit ut aer in spatiis coelestibus inque cometarum caudis non adeo rarefcat; perexiguam tamen quantitatem aeris & vaporum ad omnia illa caudarum phænomena abunde sufficere, ex hac computatione perspicuum est. Nam & caudarum insignis raritas colligitur ex astris per eas translucentibus. Atmosphæra terrestris luce solis splendens, crassitudine sua paucorum milliarium, & astra omnia & ipsam lunam obscurat & extinguit penitus: per immensam vero caudarum crassitudinem, luce pariter solari illustratam, astra minima sine claritatis detrimento translucere noscuntur. Neque major esse solet caudarum plurimarum splendor, quam aeris nostri in tenebroso cubiculo latitudine digiti unius duorumve lucem solis in jubare reflectentis.

Quo temporis spatio vapor a capite ad terminum caudæ ascendit, cognosci fere potest ducendo rectam a termino caudæ ad solem, & notando locum ubi recta illa trajectoriam fecat. Nam vapor in termino caudæ, si recta ascendat a sole, ascendere coepit a capite, quo tempore caput erat in loco intersectionis. At vapor non recta ascendit a sole, sed motum cometæ, quem ante ascensum suum habebat, retinendo, & cum motu ascensus sui eundem componendo, ascendit oblique. Unde verior erit problematis solutio, ut recta illa, quæ orbem secant, parallela sit longitudini caudæ, vel potius (ob motum curvilineum cometæ) ut eadem a linea caudæ divergat. Hoc pacto inveni quod vapor, qui erat in termino caudæ Jan. 25, ascendere coeperat a capite ante Dec. 11, ideoque ascensu suo toto dies plus 45 consumpserat. At cauda illa omnis quæ Dec. 10 apparuit, ascendit spatio dierum illorum duorum, qui a tempore perihelii cometæ elapsi fuerant. Vapor igitur sub initio in vicinia solis celerrime ascendebat, & postea cum motu per gravitatem suam semper retardato ascendere pergebat; & ascendendo augebat longitudinem caudæ: cauda autem, quamdiu apparuit, ex vapore fere omni constabat, qui a tempore perihelii ascenderat; & vapor, qui primus ascendit, & terminum caudæ composuit, non prius evanuit quam ob nimiam suam tam a sole illustrante quam ab oculis nostris distantiam videri desit.

U u u



desiit. Unde etiam caudæ cometarum aliorum, quæ breves sunt, non ascendunt motu celeri & perpetuo a capitibus & mox evanescunt, sed sunt permanentes vaporum & exhalationum columnæ, a capitibus lentissimo multorum dierum motu propagatæ, quæ, participando motum illum capitum quem habuere sub initio, per cœlos una cum capitibus moveri pergunt. Et hinc rursus colligitur spatia cœlestia vi resistendi destitui; utpote in quibus non solum solida planetarum & cometarum corpora, sed etiam rarissimi caudarum vapores motus suos velocissimos liberrime peragunt ac diutissime conservant.

Ascensum caudarum ex atmosphæris capitum & progressum in partes a sole averfas *Keplerus* ascribit actioni radorum lucis materiam caudæ secum rapientium. Et auram longe tenuissimam in spatiis liberrimis actioni radorum cedere, non est a ratione prorsus alienum, non obstante quod substantiæ crassæ impeditissimis in regionibus nostris a radiis solis sensibilibiter propelli nequeant. Alius particulas tam leves quam graves dari posse existimat, & materiam caudarum levitare, perque levitatem suam a sole ascendere. Cum autem gravitas corporum terrestrium sit ut materia in corporibus, ideoque servata quantitate materiæ intendi & remitti nequeat, suspicor ascensum illum ex rarefactione materiæ caudarum potius oriri. Ascendit fumus in camino impulsu aëris cui innatat. Aër ille per calorem rarefactus ascendit, ob diminutam suam gravitatem specificam, & fumum implicatum rapit secum. Quidni cauda cometæ ad eundem modum ascenderit a sole? Nam radii solares non agitant media, quæ permeant, nisi in reflexione & refractione. Particulæ reflectentes ea actione calefactæ calefacient auram ætheream cui implicantur. Illa calore sibi communicato rarefiet, & ob diminutam ea raritatem gravitatem suam specificam, qua prius tendebat in solem, ascendet & secum rapiet particulas reflectentes ex quibus cauda componitur: Ad ascensum vaporum conducit etiam, quod hi gyranur circa solem & ea actione conantur a sole recedere, at solis atmosphæra & materia cœlorum vel plane quiescit, vel motu solo quem a solis rotatione acceperit, tardius gyratur. Hæ sunt causæ ascensus caudarum in vicinia solis, ubi orbis curviores sunt, & cometæ intra densiorem & ea ratione graviorem solis atmosphæram consistunt, & caudas quam longissimas mox emittunt. Nam caudæ, quæ tunc nascuntur, conservando motum suum & interea versus solem gravitando, movebuntur

vebuntur circa solem in ellipsis pro more capitum, & per motum illum capita semper comitabuntur & iis liberrime adhærebunt. Gravitatis enim vaporum in solem non magis efficiet ut caudæ postea decidant a capitibus solem versus, quam gravitas capitum efficere possit, ut hæc decidant a caudis. Communi gravitate vel simul in solem cadent, vel simul in ascensu suo retardabuntur; ideoque gravitas illa non impedit, quo minus caudæ & capita positionem quamcunque ad invicem a causis jam descriptis, aut aliis quibuscunque facillime accipiant & postea liberrime servant.

Caudæ igitur, quæ in cometarum periheliis nascuntur, in regiones longinquas cum eorum capitibus abibunt, & vel inde post longam annorum seriem cum iisdem ad nos redibunt, vel potius ibi rarefactæ paulatim evanescunt. Nam postea in descensu capitum ad solem caudæ novæ breviusculæ lento motu a capitibus propagari debebunt, & subinde in periheliis cometarum illorum, qui ad usque atmosphæram solis descendunt, in immensum augeri. Vapor enim in spatiis illis liberrimis perpetuo rarefcit ac dilatatur. Qua ratione fit ut cauda omnis ad extremitatem superiorem latior sit quam juxta caput cometæ. Ea autem rarefactione vaporem perpetuo dilatatum diffundi tandem & spargi per cœlos universos, deinde paulatim in planetas per gravitatem suam attrahi, & cum eorum atmosphæris misceri rationi consentaneum videtur. Nam quemadmodum maria ad constitutionem terræ hujus omnino requiruntur, idque ut ex iis per calorem solis vapores copiose satis excitentur, qui vel in nubes coacti decidant in pluviis, & terram omnem ad procreationem vegetabilium irrigent & nutriant; vel in frigidis montium verticibus condensati (ut aliqui cum ratione philosophantur) decurrant in fontes & flumina: sic ad conservationem marium & humorum in planetis requiri videntur cometæ, ex quorum exhalationibus & vaporibus condensatis, quicquid liquoris per vegetationem & putrefactionem consumitur & in terram aridam convertitur, continuo suppleri & refici possit. Nam vegetabilia omnia ex liquoribus omnino crescunt, dein magna ex parte in terram aridam per putrefactionem abeunt, & limus ex liquoribus putrefactis perpetuo decedit. Hinc moles terræ aridæ indies augetur, & liquores, nisi aliunde augmentum fumerent, perpetuo decrescere deberent, ac tandem deficere. Porro suspicor spiritum illum, qui aëris nostri pars minima est sed subtilissima & optima,



optima, & ad rerum omnium vitam requiritur, ex cometis præcipue venire.

Atmosphæræ cometarum in descensu eorum in solem excurrendo in caudas, diminuuntur, & (ea certe in parte quæ solem respicit) angustiores redduntur: & vicissim in recessu eorum a sole, ubi jam minus excurrunt in caudas, ampliuntur; si modo phænomena eorum *Hevelius* recte notavit. Minimæ autem apparent, ubi capita jam modo ad solem calefacta in caudas maximas & fulgentissimas abiere, & nuclei fumo forsan crassiore & nigriore in atmosphærarum partibus infimis circundantur. Nam fumus omnis ingenti calore excitatus crassior & nigrior esse solet. Sic caput cometæ, de quo egimus, in æqualibus a sole ac terra distantis obscurius apparuit post perihelium suum quam antea. Mense enim *Decembri* cum stellis tertiæ magnitudinis conferri solebat, at mense *Novembri* cum stellis primæ & secundæ. Et qui utrumque viderant, majorem describunt cometam priorem. Nam juveni cuidam *Cantabrigiensi*, *Novem. 19*, cometa hicce luce sua quantumvis plumbea & obtusa, æquabat spicam virginis, & clarius micabat quam postea. Et *Montenaro Nov. 20. ft. vet.* cometa apparebat major stellis primæ magnitudinis, existente cauda duorum graduum longitudinis. Et *D. Storer* literis, quæ in manus nostras incidere, scripsit caput ejus mense *Decembri*, ubi caudam maximam & fulgentissimam emittebat, parvum esse & magnitudine visibili longe cedere cometæ, qui mense *Novembri* ante solis ortum apparuerat. Cujus rei rationem esse conjectabatur, quod materia capitis sub initio copiosior esset, & paulatim consumeretur.

Eodem spectare videtur, quod capita cometarum aliorum, qui caudas maximas & fulgentissimas emisissent, apparuerint subobscura & exigua. Nam anno 1668 *Mart. 5. ft. nov.* hora septima vespertina *R. P. Valentinus Estancius*, *Brasiliæ* agens, cometam vidit horizonti proximum ad occasum solis brumalem, capite minimo & vix conspicuo, cauda vero supra modum fulgente, ut stantes in littore speciem ejus e mari reflexam facile cernerent. Speciem utique habebat trabis splendentis longitudine 23 graduum, ab occidente in austrum vergens, & horizonti fere parallela. Tantus autem splendor tres solum dies durabat, subinde notabiliter decrescens; & interea decrescente splendore aucta est magnitudine cauda. Unde etiam in

Lusi-

*Lusitania* quartam fere cœli partem (id est, gradus 45) occupasse dicitur ab occidente in orientem splendore cum insigni protensa; nec tamen tota apparuit, capite semper in his regionibus infra horizontem delitescente. Ex incremento caudæ & decremento splendoris manifestum est, quod caput a sole recessit, eique proximum fuit sub initio, pro more cometæ anni 1680. Et in chronico *Saxónico* similis legitur cometa anni 1106, *cujus stella erat parva & obscura* (ut ille anni 1680) *sed splendor qui ex ea exivit valde clarus & quasi ingens trabs ad orientem & aquilonem tendebat*, ut habet etiam *Hevelius* ex *Simeone Dunelmensi* Monacho. Apparuit initio mensis *Februarii*, ac deinceps circa vesperam, ad occasum solis brumalem. Inde vero & ex situ caudæ colligitur caput fuisse soli vicinum. *A sole*, inquit *Matthæus Parisiensis*, *distabat quasi cubito uno, ab hora tertia [rectius sexta] usque ad horam nonam radium ex se longum emittens*. Talis etiam erat ardentissimus ille cometa ab *Aristotele* descriptus lib. 1. *Meteor. 6. cujus caput primo die non conspectum est, eo quod ante solem vel saltem sub radiis solaribus occidisset, sequente vero die quantum potuit visum est. Nam quam minima fieri potest distantia solem reliquit, & mox occubuit. Ob nimium ardorem [caudæ scilicet] nondum apparebat capitis sparsus ignis, sed procedente tempore (ait Aristoteles) cum [cauda] jam minus flagraret, reddita est [capiti] cometæ sua facies. Et splendorem suum ad tertiam usque cœli partem [id est, ad 60°] extendit. Apparuit autem tempore hyberno [an. 4. olymp. 101.] & ascendens usque ad cingulum orionis ibi evanuit*. Cometa ille anni 1618, qui e radiis solaribus caudatissimus emerfit, stellas primæ magnitudinis æquare vel paulo superare videbatur, sed majores apparere cometæ non pauci, qui caudas breviores habuere. Horum aliqui jovem, alii venerem vel etiam lunam æquasse traduntur.

Diximus cometas esse genus planetarum in orbibus valde eccentricis circa solem revolventium. Et quemadmodum e planetis non caudatis minores esse solent, qui in orbibus minoribus & soli propioribus gyranur, sic etiam cometas, qui in periheliis suis ad solem propius accedunt, ut plurimum minores esse, ne solem attractione sua nimis agitent, rationi consentaneum videtur. Orbium vero transversas diametros & revolutionum tempora periodica, ex collatione cometarum in iisdem orbibus post longa temporum intervalia redeuntium,



518 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
DE MUNDI SYSTEMATE  
untium, determinanda relinquo. Interea huic negotio propositio sequens lumen accendere potest.

PROPOSITIO XLII. PROBLEMA XXII.

*Inventam cometæ trajectoriam corrigere.*

*Operatio 1.* Assumatur positio plani trajectoriæ, per propositionem superiorem inventa; & seligantur tria loca cometæ observationibus accuratissimis definita, & ab invicem quam maxime distantia; sitque A tempus inter primam & secundam, ac B tempus inter secundam ac tertiam. Cometam autem in eorum aliquo in perigæo versari convenit, vel saltem non longe a perigæo abesse. Ex his locis apparentibus inveniantur, per operationes trigonometricas, loca tria vera cometæ in assumpto illo plano trajectoriæ. Deinde per loca illa inventa, circa centrum solis ceu umbilicum, per operationes arithmeticas, ope prop. xxi. lib. 1. institutas, describatur sectio conica: & ejus areæ, radiis a sole ad loca inventa ductis terminatæ, sunt D & E; nempe D area inter observationem primam & secundam, & E area inter secundam ac tertiam. Sitque T tempus totum, quo area tota D + E velocitate cometæ per prop. xvi. lib. 1. inventa describi debet.

*Oper. 2.* Augeatur longitudo nodorum plani trajectoriæ, additis ad longitudinem illam 20' vel 30', quæ dicantur P; & servetur plani illius inclinatio ad planum eclipticæ. Deinde ex prædictis tribus cometæ locis observatis, inveniantur in hoc novo plano loca tria vera, ut supra: deinde etiam orbis per loca illa transiens, & ejusdem areæ duæ inter observationes descriptæ, quæ sint d & e, nec non tempus totum t, quo area tota d + e describi debeat.

*Oper. 3.* Servetur longitudo nodorum in operatione prima, & augeatur inclinatio plani trajectoriæ ad planum eclipticæ, additis ad inclinationem illam 20' vel 30', quæ dicantur Q. Deinde ex observatis prædictis tribus cometæ locis apparentibus inveniantur in hoc novo plano loca tria vera, orbisque per loca illa transiens, ut & ejusdem areæ duæ inter observationes descriptæ, quæ sint δ & ε, & tempus totum τ, quo area tota δ + ε describi debeat.

Jam

PRINCIPIA MATHEMATICA.

519

Jam sit C ad 1 ut A ad B, & G ad 1 ut D ad E, & g ad 1 ut d ad e, & γ ad 1 ut δ ad ε; sitque S tempus verum inter observationem primam ac tertiam; & signis + & - probe observatis quantantur numeri m & n, ea lege, ut sit 2 G - 2 C = m G - m g + n G - n γ, & 2 T - 2 S æquale m T - m t + n T - n τ. Et si in operatione prima I designet inclinationem plani trajectoriæ ad planum eclipticæ, & K longitudinem nodi alterutrius, erit I + n Q vera inclinatio plani trajectoriæ ad planum eclipticæ, & K + m P vera longitudo nodi. Ac denique si in operatione prima, secunda ac tertia, quantitates R, r & g designent latera recta trajectoriæ, & quantitates  $\frac{1}{L}$ ,  $\frac{1}{l}$ ,  $\frac{1}{\lambda}$  ejusdem latera transversa respective: erit R +

$m r - m R + n g - n R$  verum latus rectum, &  $\frac{1}{L + m l - m L + n \lambda - n L}$  verum latus transversum trajectoriæ quam cometa describit. Dato autem latere transverso datur etiam tempus periodicum cometæ. Q. E. I.

Cæterum cometarum revolvendum tempora periodica, & orbium latera transversa, haud satis accurate determinabuntur, nisi per collationem cometarum inter se, qui diversis temporibus apparent. Si plures cometæ, post æqualia temporum intervalla, eundem orbem descripsisse reperiantur, concludendum erit hos omnes esse unum & eundem cometam, in eodem orbe revolvemem. Et tum demum ex revolutionum temporibus dabuntur orbium latera transversa, & ex his lateribus determinabuntur orbis elliptici.

In hunc finem computandæ sunt igitur cometarum plurium trajectoriæ, ex hypothesi quod sint parabolicæ. Nam hujusmodi trajectoriæ cum phænomenis semper congruent quamproxime. Id liquet, non tantum ex trajectoria parabolica cometæ anni 1680, quam cum observationibus supra contuli, sed etiam ex ea cometæ illius insignis, qui annis 1664 & 1665 apparuit, & ab Hevelio observatus fuit. Is ex observationibus suis longitudes & latitudes hujus cometæ computavit, sed minus accurate. Ex iisdem observationibus Halley noster loca cometæ hujus denuo computavit, & tum demum ex locis sic inventis trajectoriam cometæ determinavit. Invenit autem ejus nodum ascendentem in 21<sup>st</sup>. 13'. 55'', inclinationem orbitæ ad planum eclipticæ 21<sup>st</sup>. 18'. 40'', distantiam perihe-

lii



520 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
 DE MUNDI SYSTEMATE  
 lii a nodo in orbita 49<sup>gr</sup>. 27'. 30". Perihelium in  $\Omega$  8<sup>gr</sup>. 40'. 30" cum latitudine austrina heliocentrica 16<sup>gr</sup>. 1'. 45". Cometam in perihelio Novem. 24<sup>d</sup>. 11<sup>h</sup>. 52'. p. m. tempore æquato Londini, vel 13<sup>h</sup>. 8' Gedani, stylo veteri, & latus rectum parabolæ 410286, existente mediocri terræ a sole distantia 100000. Quam probe loca cometæ in hoc orbe computata congruunt cum observationibus, patebit ex tabula sequente ab Hallicio supputata.

Temp. Appar. Gedani, st. vet.	Observatæ Cometæ distantæ.	Loca observata.	Loca computata in Orbe.
Decemb. 3 <sup>d</sup> . 18 <sup>h</sup> . 29 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	a Corde Leonis 46. 24. 20 a Spica Virginis 22. 52. 10	Long. $\Omega$ 7. 1. 0 Lat. austr. 21. 39. 0	$\Omega$ 7. 1. 20 21. 38. 50
4. 18. 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	a Corde Leonis 46. 2. 45 a Spica Virginis 23. 52. 40	Long. $\Omega$ 16. 15. 0 Lat. austr. 22. 24. 0	$\Omega$ 6. 10. 5 22. 24. 0
7. 17. 48	a Corde Leonis 44. 48. 0 a Spica Virginis 27. 56. 40	Long. $\Omega$ 3. 6. 0 Lat. austr. 25. 22. 0	$\Omega$ 3. 7. 33 25. 21. 40
17. 14. 43	a Corde Leonis 53. 15. 15 ab Hum. Orionis dext. 45. 43. 30	Long. $\Omega$ 2. 56. 0 Lat. austr. 49. 25. 0	$\Omega$ 2. 56. 0 49. 25. 0
19. 9. 25	a Procyone 35. 13. 50 a Lucid. Mandib. Ceti 52. 56. 0	Long. $\Pi$ 28. 40. 30 Lat. austr. 45. 48. 0	$\Pi$ 28. 43. 0 45. 46. 0
20. 9. 53 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	a Procyone 40. 49. 0 a Lucid. Mandib. Ceti 40. 4. 0	Long. $\Pi$ 13. 3. 0 Lat. austr. 39. 54. 0	$\Pi$ 3. 5. 0 39. 53. 0
21. 9. 9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	ab Hum. dext. Orionis 26. 21. 25 a Lucid. Mandib. Ceti 29. 28. 0	Long. $\Pi$ 2. 16. 0 Lat. austr. 23. 41. 0	$\Pi$ 2. 18. 30 33. 39. 40
22. 9. 0	ab Hum. dext. Orionis 29. 47. 0 a Lucid. Mandib. Ceti 20. 29. 30	Long. $\Pi$ 24. 24. 0 Lat. austr. 27. 45. 0	$\Pi$ 24. 27. 0 27. 46. 0
26. 7. 58	a Lucida Arietis 23. 20. 0 ab Aldebaran 26. 44. 0	Long. $\delta$ 9. 0. 0 Lat. austr. 12. 36. 0	$\delta$ 9. 2. 28 12. 34. 13
27. 6. 45	a Lucida Arietis 20. 45. 0 ab Aldebaran 28. 10. 0	Long. $\delta$ 7. 5. 40 Lat. austr. 10. 23. 0	$\delta$ 7. 8. 45 10. 23. 13
28. 7. 39	a Lucida Arietis 18. 29. 0 a Palilicio 20. 37. 0	Long. $\delta$ 5. 24. 45 Lat. austr. 8. 22. 50	$\delta$ 5. 27. 52 8. 23. 37
31. 6. 45	a Cing. Androm. 30. 48. 10 a Palilicio 32. 53. 30	Long. $\delta$ 2. 7. 40 Lat. austr. 4. 13. 0	$\delta$ 2. 8. 20 4. 16. 25
Jan. 1665. 7. 7. 37 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	a Cing. Androm. 25. 11. 0 a Palilicio 37. 12. 25	Long. $\gamma$ 28. 24. 47 Lat. bor. 0. 54. 0	$\gamma$ 28. 24. 0 0. 53. 0
13. 7. 0	a capite Androm. 28. 7. 10 a Palilicio 38. 55. 20	Long. $\gamma$ 27. 6. 54 Lat. bor. 3. 6. 50	$\gamma$ 27. 6. 39 3. 7. 40
24. 7. 29	a Cing. Androm. 20. 32. 15 a Palilicio 40. 5. 0	Long. $\gamma$ 26. 29. 15 Lat. bor. 5. 25. 50	$\gamma$ 26. 28. 50 5. 26. 0
Feb. 7. 8. 37		Long. $\gamma$ 27. 4. 46 Lat. bor. 7. 3. 20	$\gamma$ 27. 24. 55 7. 3. 15
22. 8. 46		Long. $\gamma$ 28. 29. 46 Lat. bor. 8. 12. 36	$\gamma$ 28. 29. 58 8. 10. 25
Mar. 1. 8. 16		Long. $\gamma$ 29. 18. 15 Lat. bor. 8. 36. 26	$\gamma$ 29. 18. 20 8. 36. 12
7. 8. 37		Long. $\gamma$ 0. 2. 48 Lat. bor. 8. 56. 30	$\gamma$ 0. 2. 42 8. 56. 46

Mense

## PRINCIPIA MATHEMATICA.

521

LIBER  
 TERTIUS.

Mense *Februario* anni incuntis 1665, stella prima arietis, quam in sequentibus vocabo  $\gamma$ , erat in  $\gamma$  28<sup>gr</sup>. 30'. 15" cum latitudine boreali 7<sup>gr</sup>. 8'. 58". Secunda arietis erat in  $\gamma$  29<sup>gr</sup>. 17'. 18" cum latitudine boreali 8<sup>gr</sup>. 28'. 16". Et stella quædam alia septimæ magnitudinis, quam vocabo  $A$ , erat in  $\gamma$  28<sup>gr</sup>. 24'. 45" cum latitudine boreali 8<sup>gr</sup>. 28'. 33". Cometa vero *Feb.* 7<sup>d</sup>. 7'. 30" *Parisis* (id est *Feb.* 7<sup>d</sup>. 8'. 37" *Gedani*) st. vet. triangulum constituebat cum stellis illis  $\gamma$  &  $A$  rectangulum ad  $\gamma$ . Et distantia cometæ a stella  $\gamma$  æqualis erat distantia stellarum  $\gamma$  &  $A$ , id est 1<sup>gr</sup>. 19'. 46" in circulo magno, atque ideo ea erat 1<sup>gr</sup>. 20'. 26" in parallelo latitudinis stellæ  $\gamma$ . Quare si de longitudine stellæ  $\gamma$  detrahatur longitudo 1<sup>gr</sup>. 20'. 26", manebit longitudo cometæ  $\gamma$  27<sup>gr</sup>. 9'. 49". *Auzoutius* ex hac sua observatione cometam posuit in  $\gamma$  27<sup>gr</sup>. 0' circiter. Et ex schemate, quo *Hookius* motum ejus delineavit, is jam erat in  $\gamma$  26<sup>gr</sup>. 59'. 24". Ratione mediocri posui eundem in  $\gamma$  27<sup>gr</sup>. 4'. 46". Ex eadem observatione *Auzoutius* latitudinem cometæ jam posuit 7<sup>gr</sup> & 4' vel 5' boream versus. Eandem rectius posuisset 7<sup>gr</sup>. 3'. 29", existente scilicet differentia latitudinum cometæ & stellæ  $\gamma$  æquali differentia longitudinum stellarum  $\gamma$  &  $A$ .

*Feb.* 22<sup>d</sup>. 7<sup>h</sup>. 30' *Londini*, id est *Feb.* 22<sup>d</sup>. 8<sup>h</sup>. 46' *Gedani*, distantia cometæ a stella  $A$ , juxta observationem *Hookii* a seipso in schemate delineatam, ut & juxta observationes *Auzoutii* a *Petito* in schemate delineatas, erat pars quinta distantia inter stellam  $A$  & primam arietis, seu 15'. 57". Et distantia cometæ a linea jungente stellam  $A$  & primam arietis erat pars quarta ejusdem partis quintæ, id est 4'. Ideoque cometa erat in  $\gamma$  28<sup>gr</sup>. 29'. 46", cum lat. bor. 8<sup>gr</sup>. 12'. 36".

*Mart.* 1<sup>d</sup>. 7<sup>h</sup>. 0' *Londini*, id est *Mart.* 1<sup>d</sup>. 8<sup>h</sup>. 16' *Gedani*, cometa observatus fuit prope secundam arietis, existente distantia inter eodem ad distantiam inter primam & secundam arietis, hoc est ad 1<sup>gr</sup>. 33', ut 4 ad 45 secundum *Hookium*, vel ut 2 ad 23 secundum *Gottignies*. Unde distantia cometæ a secunda arietis erat 8'. 16" secundum *Hookium*, vel 8'. 5" secundum *Gottignies*, vel ratione mediocri 8'. 10". Cometa vero secundum *Gottignies* jam modo prætergressus fuerat secundam arietis quasi spatio quartæ vel quintæ partis itineris uno die confecti, id est 1'. 35" circiter (quocum satis consentit *Auzoutius*) vel paulo minorem secundum *Hookium*, puta 1'. Quare si ad longitudinem primæ arietis addatur 1', & ad

X x x

lati-



522 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
 DE MUNDI SYSTEMATE  
 latitudinem ejus 8'. 10'', habebitur longitudo cometæ  $\gamma$  29<sup>gr</sup>. 18', & latitudo borealis 8<sup>gr</sup>. 36'. 26''.

*Mart.* 7<sup>d</sup>. 7<sup>h</sup>. 30' *Parisis* (id est *Mart.* 7<sup>d</sup>. 8<sup>h</sup>. 37' *Gedani*) ex observationibus *Auzoutii* distantia cometæ a secunda arietis æqualis erat distantia secunda arietis a stella *A*, id est 52'. 29''. Et differentia longitudinum cometæ & secunda arietis erat 45' vel 46', vel ratione mediocri 45'. 30''. Ideoque cometa erat in 8<sup>gr</sup>. 2'. 48''. Ex schemate observationum *Auzoutii*, quod *Petitus* construxit, *Hévelius* deduxit latitudinem cometæ 8<sup>gr</sup>. 54'. Sed sculptor viam cometæ sub finem motus ejus irregulariter incurvavit, & *Hévelius* in schemate observationum *Auzoutii* a se constructo incurvationem irregularem correxit, & sic latitudinem cometæ fecit esse 8<sup>gr</sup>. 55'. 30''. Et irregularitatem paulo magis corrigendo, latitudo evadere potest 8<sup>gr</sup>. 56', vel 8<sup>gr</sup>. 57'.

Vifus etiam fuit hic cometa *Martii* die 9, & tunc locari debuit in 8<sup>gr</sup>. 18', cum lat. bor. 9<sup>gr</sup>. 3<sup>gr</sup>. 3<sup>gr</sup> circiter.

Apparuit hic cometa menses tres, signaque fere sex descripsit, & uno die gradus fere viginti confecit. Cursus ejus a circulo maximo plurimum deflexit, in boream incurvatus; & motus ejus sub finem ex retrogrado factus est directus. Et non obstante cursu tam insolito, theoria a principio ad finem cum observationibus non minus accurate congruit, quam theoriæ planetarum cum eorum observationibus congruere solent, ut inspicienti tabulam patebit. Subducenda tamen sunt minuta duo prima circiter, ubi cometa velocissimus fuit; id quod fiet auferendo duodecim minuta secunda ab angulo inter nodum ascendentem & perihelium, seu constituendo angulum illum 49<sup>gr</sup>. 27'. 18''. Cometæ utriusque (& hujus & superioris) parallaxis annua insignis fuit, & inde demonstratur motus annuus terræ in orbe magno.

Confirmatur etiam theoria per motum cometæ, qui apparuit anno 1683. Hic fuit retrogradus in orbe, cujus planum cum plano eclipticæ angulum fere rectum continebat. Hujus nodus ascendens (computante *Halleio*) erat in  $\pi$  23<sup>gr</sup>. 23'; inclinatio orbitæ ad eclipticam 83<sup>gr</sup>. 11'; perihelium in  $\pi$  25<sup>gr</sup>. 29'. 30''; distantia perihelia a sole 56020, existente radio orbis magni 100000, & tempore perihelii *Julii* 2<sup>d</sup>. 3<sup>h</sup>. 50'. Loca autem cometæ in hoc orbe ab *Halleio* computata, & cum locis a *Flamstedio* observatis collata, exhibentur in tabula sequente.

Temp.

# PRINCIPIA MATHEMATICA.

523

LIBER  
 TERTIUS.

1683	Locus Solis	Cometæ	Lat. Bor.	Cometæ	Lat. Bor.	Differ.	Differ.
Temp. Æquat.	Long. Comp.	Long. Comp.	Comp.	Long. Obs.	Observ.	Long.	Lat.
d. h. m.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.
Jul. 13. 12. 55	Ω 1. 2. 30	Ω 13. 5. 42	29. 28. 13	Ω 13. 6. 42	29. 28. 20	+ 1. 0	+ 0. 7
15. 11. 15	2. 5. 12	11. 37. 48	29. 34. 0	11. 39. 43	29. 34. 50	+ 1. 55	+ 0. 50
17. 10. 20	4. 45. 45	10. 7. 6	29. 33. 30	10. 8. 40	29. 34. 0	+ 1. 34	+ 0. 30
23. 13. 40	10. 38. 21	5. 10. 27	28. 51. 42	5. 11. 30	28. 50. 28	+ 1. 3	+ 1. 14
25. 14. 5	12. 35. 28	3. 27. 53	24. 24. 47	3. 27. 0	28. 23. 40	- 0. 53	- 1. 7
31. 9. 42	18. 9. 22	II 27. 55. 3	26. 22. 52	II 27. 54. 24	26. 22. 25	- 0. 39	- 0. 27
31. 14. 55	18. 21. 53	27. 41. 7	26. 16. 57	27. 41. 8	26. 14. 50	+ 0. 1	- 2. 7
2. 14. 56	20. 17. 16	25. 29. 32	25. 16. 19	25. 28. 46	25. 17. 28	- 0. 46	+ 1. 9
4. 10. 49	22. 2. 50	23. 18. 20	24. 10. 49	23. 16. 55	24. 12. 19	- 1. 25	+ 1. 30
6. 10. 9	23. 56. 45	20. 42. 23	22. 47. 5	20. 40. 32	22. 49. 5	- 1. 51	+ 2. 0
9. 10. 26	26. 50. 52	16. 7. 57	20. 6. 37	16. 5. 55	20. 6. 10	- 2. 2	- 0. 27
15. 14. 1	2. 47. 13	3. 30. 48	11. 37. 33	3. 26. 18	11. 32. 1	- 4. 30	- 5. 32
16. 15. 10	3. 48. 2	0. 43. 7	9. 34. 16	0. 41. 55	9. 34. 13	- 1. 12	- 0. 3
18. 15. 44	5. 45. 33	24. 52. 53	5. 11. 15	24. 49. 5	5. 9. 11	- 3. 48	- 2. 4
			Austr.		Austr.		
22. 14. 44	9. 35. 49	11. 7. 14	5. 16. 58	11. 7. 12	5. 16. 58	- 0. 2	- 0. 3
23. 15. 52	10. 36. 48	7. 2. 18	8. 17. 9	7. 1. 17	8. 16. 41	- 1. 1	- 0. 28
26. 16. 2	13. 31. 10	24. 45. 31	16. 38. 0	24. 44. 0	16. 38. 20	- 1. 31	+ 0. 20

Confirmatur etiam theoria per motum cometæ retrogradi, qui apparuit anno 1682. Hujus nodus ascendens (computante *Halleio*) erat in 8<sup>gr</sup>. 16'. 30''. Inclinatio orbitæ ad planum eclipticæ 17<sup>gr</sup>. 56'. 0''. Perihelium in  $\approx$  2<sup>gr</sup>. 52'. 50''. Distantia perihelia a sole 58328, existente radio orbis magni 100000. Et tempus æquatum perihelii *Sept.* 4<sup>d</sup>. 7<sup>h</sup>. 39'. Loca vero ex observationibus *Flamstedii* computata, & cum locis per theoriā computatis collata, exhibentur in tabula sequente.

1682	Locus Solis	Cometæ	Lat. Bor.	Cometæ	Lat. Bor.	Differ.	Differ.
Temp. Appar.	Long. Comp.	Long. Comp.	Comp.	Long. Obs.	Observ.	Long.	Lat.
d. h. m.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.	gr. min. sec.
Aug. 19. 16. 38	7. 0. 7	Ω 18. 14. 28	25. 50. 7	Ω 18. 14. 40	25. 49. 55	- 0. 12	+ 0. 12
20. 15. 38	7. 55. 52	24. 46. 23	26. 14. 42	24. 46. 22	26. 12. 52	+ 0. 1	+ 1. 50
21. 8. 21	8. 36. 14	29. 37. 15	26. 20. 3	29. 38. 2	26. 17. 37	- 0. 47	+ 2. 26
22. 8. 8	9. 33. 55	26. 29. 53	26. 8. 42	26. 30. 3	26. 7. 12	- 0. 10	+ 1. 30
29. 8. 20	16. 22. 40	12. 37. 54	18. 37. 47	12. 37. 49	18. 34. 5	+ 0. 5	+ 3. 42
30. 7. 45	17. 19. 41	15. 36. 1	17. 26. 43	15. 5. 18	17. 27. 17	+ 0. 43	- 0. 34
Sept. 1. 7. 33	19. 16. 9	20. 30. 53	15. 13. 0	20. 27. 4	15. 9. 49	+ 3. 49	+ 3. 11
4. 7. 22	22. 11. 28	25. 42. 0	12. 23. 48	25. 40. 58	12. 22. 0	+ 1. 2	+ 1. 48
7. 7. 32	23. 10. 29	27. 0. 46	11. 33. 8	26. 59. 24	11. 33. 51	+ 1. 22	- 0. 43
8. 7. 16	26. 5. 58	29. 58. 44	9. 26. 46	29. 58. 45	9. 26. 43	- 0. 1	+ 0. 3
9. 7. 26	27. 5. 9	0. 44. 10	8. 49. 10	0. 44. 4	8. 48. 25	+ 0. 6	+ 0. 45

Confirmatur etiam theoria per motum retrogradum cometæ, qui apparuit anno 1723. Hujus nodus ascendens (computante *D. Bradley*, astronomiæ apud *Oxonienfes* professore *Saviliano*) erat in  
 X x x 2  $\gamma$  14<sup>gr</sup>.



524 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
 DE MUNDI SYSTEMATE  
 14<sup>gr</sup>. 16'. Inclinatio orbitæ ad planum eclipticæ 49<sup>gr</sup>. 59'. Perihelium in 8 12<sup>gr</sup>. 15'. 20". Distantia perihelia a sole 998651, existente radio orbis magni 1000000, & tempore æquato perihelii *Septem.* 16<sup>d</sup>. 16<sup>h</sup>. 10'. Loca vero cometæ in hoc orbe a *Bradleo* computata, & cum locis a seipso & patruo suo D. *Poundio*, & a D. *Halleio* observatis collata exhibentur in tabula sequente.

1723 Temp. Æquat.	Comet. Long. Observat.	Lat. Bor. Observat.	Comet. Long. Comput.	Lat. Bor. Comput.	Differ. Long.	Differ. Latit.
d. h. m.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
Octob. 9. 8. 5	7. 22. 15	5. 2. 0	7. 21. 26	5. 2. 47	+ 49	- 47
10. 6. 21	6. 41. 12	7. 44. 13	6. 41. 42	7. 43. 18	- 50	+ 55
12. 7. 22	5. 39. 58	11. 55. 0	5. 40. 19	11. 54. 55	- 21	+ 5
14. 8. 57	4. 59. 49	14. 43. 50	5. 0. 37	14. 44. 1	- 48	+ 11
15. 6. 35	4. 47. 41	15. 40. 51	4. 47. 45	15. 40. 55	- 4	- 4
21. 6. 22	4. 2. 32	19. 41. 49	4. 2. 21	19. 42. 3	+ 11	- 14
22. 6. 24	3. 59. 2	20. 8. 12	3. 59. 10	20. 8. 17	- 8	- 5
24. 8. 2	3. 55. 29	20. 55. 18	3. 55. 11	20. 55. 9	+ 18	+ 9
29. 8. 56	3. 56. 17	22. 20. 27	3. 56. 42	22. 20. 10	- 25	+ 17
30. 6. 20	3. 58. 9	22. 32. 28	3. 58. 17	22. 32. 12	- 8	+ 16
Nov. 5. 5. 53	4. 16. 30	23. 38. 33	4. 16. 23	23. 38. 7	+ 7	+ 26
8. 7. 6	4. 29. 36	24. 4. 30	4. 29. 54	24. 4. 40	- 18	- 10
14. 6. 20	5. 2. 16	24. 48. 46	5. 2. 51	24. 48. 16	- 35	+ 30
20. 7. 45	5. 42. 20	25. 24. 45	5. 43. 13	25. 25. 17	- 53	- 32
Dec. 7. 6. 45	8. 4. 13	26. 54. 18	8. 3. 55	26. 53. 42	+ 18	+ 36

His exemplis abunde satis manifestum est, quod motus cometarum per theoriam a nobis expositam non minus accurate exhibentur, quam solent motus planetarum per eorum theorias. Et propterea orbes cometarum per hanc theoriam enumerari possunt, & tempus periodicum cometæ in quolibet orbe revolventis tandem sciri, & tum demum orbium ellipticorum latera transversa & apheliorum altitudines innotescunt.

Cometa retrogradus, qui apparuit anno 1607, descripsit orbem, cujus nodus ascendens (computante *Halleio*) erat in 8 20<sup>gr</sup>. 21'; inclinatio plani orbis ad planum eclipticæ erat 17<sup>gr</sup>. 2'; perihelium erat in 2<sup>gr</sup>. 16'; & distantia perihelia a sole erat 58680, existente radio orbis magni 100000. Et cometa erat in perihelio *Octob.* 16<sup>d</sup>. 3<sup>h</sup>. 50'. Congruit hic orbis quamproxime cum orbe cometæ, qui apparuit anno 1682. Si cometæ hi duo fuerint unus & idem, revolvetur hic cometa spatio annorum 75, & axis major orbis ejus erit ad axem majorem orbis magni, ut  $\sqrt{6} : 75 \times 75$  ad 1, seu 1778 ad 100 circiter. Et distantia aphelia cometæ hujus a sole, erit ad distantiam

PRINCIPIA MATHEMATICA. 525

tiam mediocrem terræ a sole, ut 35 ad 1 circiter. Quibus cognitis, haud difficile fuerit orbem ellipticum cometæ hujus determinare. Atque hæc ita se habebunt si cometa, spatio annorum septuaginta quinque, in hoc orbe posthac redierit. Cometæ reliqui majori tempore revolvi videntur & altius ascendere.

Cæterum cometæ, ob magnum eorum numerum, & magnam apheliorum a sole distantiam, & longam moram in apheliis, per gravitates in se mutuo nonnihil turbari debent, & eorum eccentricitates & revolutionum tempora nunc augeri aliquantulum, nunc diminui. Proinde non est expectandum ut cometa idem in eodem orbe, & iisdem temporibus periodicis accurate redeat. Sufficit si mutationes non majores obvenierint, quam quæ a causis prædictis oriuntur.

Et hinc ratio redditur, cur cometæ non comprehendantur zodiaco more planetarum, sed inde migrent & motibus variis in omnes cælorum regiones ferantur. Scilicet eo fine, ut in apheliis suis, ubi tardissime moventur, quam longissime distent ab invicem, & se mutuo quam minime trahant. Qua de causa cometæ, qui altius descendunt, ideoque tardissime moventur in apheliis, debent altius ascendere.

Cometa, qui anno 1680 apparuit, minus distabat a sole in perihelio suo quam parte sexta diametri solis; & propter summam velocitatem in vicinia illa, & densitatem aliquam atmosphæræ solis, resistantiam nonnullam sentire debuit, & aliquantulum retardari, & propius ad solem accedere: & singulis revolutionibus accedendo ad solem, incidet is tandem in corpus solis. Sed & in aphelio ubi tardissime movetur, aliquando per attractionem aliorum cometarum retardari potest, & subinde in solem incidere. Sic etiam stellæ fixæ, quæ paulatim expirant in lucem & vapores, cometis in ipsas incidentibus refici possunt, & novo alimento accensæ pro stellis novis haberi. Hujus generis sunt stellæ fixæ, quæ subito apparent, & sub initio quam maxime splendent, & subinde paulatim evanescent. Talis fuit stella in cathedra Cassiopeiæ quam *Cornelius Gemma* octavo *Novembris* 1572, lustrando illam cœli partem nocte serena minime vidit; at nocte proxima (*Novem.* 9.) vidit fixis omnibus splendidior, & luce sua vix cedentem veneri. Hanc *Tycho Braheus* vidit undecimo ejusdem mensis ubi maxime splenduit; & ex eo tempore paulatim

LIBER  
TERTIUS.



526 PHILOSOPHIÆ NATURALIS  
De Mundi  
SYSTEMATE paulatim decrefcentem & ſpatio menſium ſexdecim evaneſcentem  
obſervavit. Menſe *Novembri*, ubi primum apparuit, venerem luce  
ſua æquabat. Menſe *Decembri* nonnihil diminuta jovem æquare  
videbatur. Anno 1573, menſe *Januario* minor erat jove & major  
Sirio, cui in fine *Februarii* & *Martii* initio evaſit æqualis. Menſe  
*Aprili* & *Maio* ſtellis ſecundæ magnitudinis, *Junio*, *Julio* & *Auguſto*  
ſtellis tertiæ magnitudinis, *Septembri*, *Octobri* & *Novembri* ſtellis  
quartæ, *Decembri* & anni 1574, menſe *Januario* ſtellis quintæ, &  
menſe *Februario* ſtellis ſextæ magnitudinis æqualis videbatur, &  
menſe *Martio* ex oculis evanuit. Color illi ab initio clarus, albicans  
ac ſplendidus, poſtea flavus, & anni 1573 menſe *Martio* rutilans inſtar  
martis aut ſtellæ aldebaran; *Maio* autem albitudinem ſublividam induxit,  
qualem in ſaturno cernimus, quem colorem uſque in finem ſervavit,  
ſemper tamen obſcurior facta. Talis etiam fuit ſtella in dextro pede  
ſerpentarii, quam *Kepleri* diſcipuli anno 1604, die 30 *Septembris*  
ſt. vet. apparere cœpiſſe obſervarunt, & luce ſua ſtellæ jovis ſu-  
perafſe, cum nocte præcedente minime apparuiſſet. Ab eo vero  
tempore paulatim decrevit, & ſpatio menſium quindecim vel ſex-  
decim ex oculis evanuit. Tali etiam ſtella nova ſupra modum  
ſplendente *Hipparchus* ad fixas obſervandas & in catalogum refe-  
rendas excitatus fuiſſe dicitur. Sed fixæ, quæ per vices apparent  
& evaneſcunt, quæque paulatim creſcunt, & luce ſua fixas tertiæ  
magnitudinis vix unquam ſuperant, videntur eſſe generis alterius,  
& revolvendo partem lucidam & partem obſcuram per vices oſten-  
dere. Vapores autem, qui ex ſole & ſtellis fixis & caudis cometa-  
rum oriuntur, incidere poſſunt per gravitatem ſuam in atmophæras  
planetarum & ibi condenſari & converti in aquam & ſpiritus hu-  
midos, & ſubinde per lentum calorem in ſales, & ſulphura, & tin-  
cturas, & limum, & lutum, & argillam, & arenam, & lapides, &  
coralla, & ſubſtantias alias terreſtres paulatim migrare.

#### SCHOLIUM GENERALE.

Hypotheſis vorticum multis premitur difficultatibus. Ut planeta  
anufquique radio ad ſolem ducto areas deſcribat tempori propor-  
tionales, tempora periodica partium vorticis deberent eſſe in du-  
plicata ratione diſtantiarum a ſole. Ut periodica planetarum tem-  
pora ſint in proportionem ſeſquiplicata diſtantiarum a ſole, tempora peri-

#### PRINCIPIA MATHEMATICA.

527

LIBER  
TERTIUS.

periodica partium vorticis deberent eſſe in ſeſquiplicata diſtantia-  
rum proportionem. Ut vortices minores circum ſaturnum, jovem &  
alios planetas gyraſi conſerventur & tranquille natent in vortice ſo-  
lis, tempora periodica partium vorticis ſolaris deberent eſſe æqualia.  
Revoluciones ſolis & planetarum circum axes ſuos, quæ cum mo-  
tibus vorticum congruere deberent, ab omnibus hiſce proportioni-  
bus diſcrepant. Motus cometarum ſunt ſumme regulares, & eaſdem  
leges cum planetarum motibus obſervant, & per vortices explicari  
nequeunt. Feruntur cometæ motibus valde eccentricis in omnes  
cœlorum partes, quod fieri non poteſt, niſi vortices tollantur.

Projeclilia, in aëre noſtro, ſolam aëris reſiſtentiam ſentiunt. Sub-  
lato aëre, ut ſit in vacuo *Boyliano*, reſiſtentia ceſſat, ſiquidem pluma  
tenuis & aurum ſolidum æquali cum velocitate in hoc vacuo ca-  
dunt. Et par eſt ratio ſpatiorum cœleſtium, quæ ſunt ſupra atmo-  
ſphæram terræ. Corpora omnia in iſtis ſpatiis liberrime moveri de-  
bent; & propterea planetæ & cometæ in orbibus ſpecie & poſitione  
datis ſecundum leges ſupra expoſitas perpetuo revolvi. Perſe-  
verabunt quidem in orbibus ſuis per leges gravitatis, ſed regula-  
rem orbium ſitum primitus acquirere per leges hæc minime po-  
tuerunt.

Planetæ ſex principales revolvuntur circum ſolem in circulis ſoli-  
concentricis, eadem motus directione, in eodem plano quamproxi-  
me. Lunæ decem revolvuntur circum terram, jovem & ſaturnum  
in circulis concentricis, eadem motus directione, in planis orbium  
planetarum quamproxime. Et hi omnes motus regulares originem  
non habent ex cauſis mechanicis; ſiquidem cometæ in orbibus valde  
eccentricis, & in omnes cœlorum partes libere feruntur. Quo mo-  
tus genere cometæ per orbem planetarum celerrime & facillime tran-  
ſeunt, & in apheliis ſuis ubi tardiores ſunt & diutius morantur;  
quam longiſſime diſtant ab invicem, ut ſe mutuo quam minime tra-  
hant. Elegantiffima hæc ſolis, planetarum & cometarum com-  
pages non niſi conſilio & dominio entis intelligentis & potentis oriri  
potuit. Et ſi ſtellæ fixæ ſint centra ſimilium ſyſtematum, hæc om-  
nia ſimili conſilio conſtructa ſuberunt *Unius* dominio: præſertim  
cum lux fixarum ſit ejusdem naturæ ac lux ſolis, & ſyſtemata omnia  
lucem in omnia invicem immittant. Et ne fixarum ſyſtemata per  
gravitatem ſuam in ſe mutuo cadant, hic eadem immenſam ab invi-  
cem diſtantiam poſuerit.

Mic.



Hic omnia regit non ut anima mundi, sed ut univerforum dominus. Et propter dominium suum, dominus deus <sup>a</sup> Παντοκράτωρ dici solet. Nam deus est vox relativa & ad servos refertur: & deitas est dominatio dei, non in corpus proprium, uti sentiunt quibus deus est anima mundi, sed in servos. Deus summus est ens æternum, infinitum, absolute perfectum: sed ens utcumque perfectum sine dominio non est dominus deus. Dicimus enim deus meus, deus vester, deus *Israelis*, deus deorum, & dominus dominorum: sed non dicimus æternus meus, æternus vester, æternus *Israelis*, æternus deorum; non dicimus infinitus meus, vel perfectus meus. Hæ appellationes relationem non habent ad servos. Vox deus pas-

<sup>b</sup> *Pocockus* noster vocem dei deducit a voce *Arabica* *du*, (& in casu obliquo *di*.) quæ dominum significat. Et hoc sensu principes vocantur dii, *psalm.* lxxxiv. 6. & *Joan.* x. 45. Et *Moses* dicitur deus fratris *Aaron*, & deus regis *Pharaonis* (*Exod.* iv. 16. & vii. 1.) Eteodem sensu animæ principum mortuorum olim a gentibus vocabantur dii, sed falso propter defectum dominii.

sim <sup>b</sup> significat dominum: sed omnis dominus non est deus. Dominatio entis spiritualis deum constituit, vera verum, summa summum, ficta fictum. Et ex dominatione vera sequitur deum verum esse vivum, intelligentem & potentem; ex reliquis perfectionibus summum esse, vel summe perfectum. Æternus est & infinitus, omnipotens & omnisciens, id est, durat ab æterno in æternum, & adest ab infinito in infinitum: omnia regit; & omnia cognoscit, quæ fiunt aut fieri possunt. Non est æternitas & infinitas, sed æternus & infinitus; non est duratio & spatium, sed durat & adest. Durat semper, & adest ubique, & existendo semper & ubique, durationem & spatium constituit. Cum unaquæque spatii particula sit *semper*, & unumquodque durationis indivisibile momentum *ubique*, certe rerum omnium fabricator ac dominus non erit *nunquam*, *nusquam*. Omnis anima sentiens diversis temporibus, & in diversis sensuum, & motuum organis eadem est persona indivisibilis. Partes dantur successivæ in duratione, coexistentes in spatio, neutræ in persona hominis seu principio ejus cogitante; & multo minus in substantia cogitante dei. Omnis homo, quatenus res sentiens, est unus & idem homo durante vita sua in omnibus & singulis sensuum organis. Deus est unus & idem deus semper & ubique. Omnipræsens est non per *virtutem* solam, sed etiam per *substantiam*; nam virtus sine substantia subsistere non potest.

test. In ipso <sup>c</sup> continentur & moventur universa, sed sine mutua passione. Deus nihil patitur ex corporum motibus: illa nullam sentiunt resistantiam ex omnipræsentia dei. Deum summum necessario existere in confesso est: Et eadem necessitate *semper* est & *ubique*. Unde etiam totus est sui similis, totus oculus, totus auris, totus cerebrum, totus brachium, totus vis sentiendi, intelligendi, & agendi, sed more minime humano, more minime corporeo, more nobis prorsus incognito. Ut cæcus non habet ideam colorum, sic nos ideam non habemus modorum, quibus deus sapientissimus sentit & intelligit omnia. Corpore omni & figura corporea prorsus destituitur, ideoque videri non potest, nec audiri, nec tangi, nec sub specie rei alicujus corporei coli debet. Ideas habemus attributorum ejus, sed quid sit rei alicujus substantia minime cognoscimus. Videmus tantum corporum figuras & colores, audimus tantum sonos, tangimus tantum superficies externas, olfacimus odores solos, & gustamus sapes: intimas substantias nullo sensu, nulla actione reflexa cognoscimus; & multo minus ideam habemus substantiæ dei. Hunc cognoscimus solummodo per proprietates ejus & attributa, & per sapientissimas & optimas rerum structuras & causas finales, & admiramur ob perfectiones; veneramur autem & colimus ob dominium. Colimus enim ut servi, & deus sine dominio, providentia, & causis finalibus nihil aliud est quam fatum & natura. A cæca necessitate metaphysica, quæ utique eadem est semper & ubique, nulla oritur rerum variatio. Tota rerum conditarum pro locis ac temporibus diversitas, ab ideis & voluntate entis necessario existentis solummodo oriri potuit. Dicitur autem deus per allegoriam videre, audire, loqui, ridere, amare, odio habere, cupere, dare, accipere, gaudere, irasci, pugnare, fabricare, condere, construere. Nam sermo omnis de deo a rebus humanis per similitudinem aliquam defumitur, non perfectam quidem, sed aliqualem tamen. Et hæc de deo, de quo utique ex phænomenis differere, ad philosophiam naturalem pertinet.

Y y

Hactenus

<sup>c</sup> Ita sentiebant veteres, ut *Pythagoras* apud *Ciceronem*, de *Natura deorum*, lib. i. *Thales*, *Anaxagoras*, *Virgilius* *Georgic.* lib. iv. v. 220, & *Æneid.* lib. 6. v. 721. *Philo* *Allegor.* lib. i. sub initio. *Aratus* in *Phænomen.* sub initio. Ita etiam scriptores sacri ut *Paulus* in *Act.* xvii. 27, 28. *Johannes* in *Evang.* xiv. 2. *Moses* in *Deut.* iv. 39. & x. 14. *David* *Psalm.* cxxxix. 7, 8, 9. *Solomon* 1 *Reg.* viii. 27. *Job* xxii. 12, 13, 14. *Jeremias* xxiii. 23, 24. Fingebant autem idolatræ solem, lunam, & astra, animas hominum & alias mundi partes esse partes dei summi & ideo colendas sed falso.



Haftenus phaenomena caelorum & maris nostri per vim gravitatis exposui, sed causam gravitatis nondum assignavi. Oritur utique haec vis a causa aliqua, quae penetrat ad usque centra solis & planetarum, sine virtutis diminutione; quaeque agit non pro quantitate *superficierum* particularum, in quas agit (ut solent causae mechanicae) sed pro quantitate materiae *solidae*; & cujus actio in immensas distantias undique extenditur, decrecendo semper in duplicata ratione distantiarum. Gravitatio in solem componitur ex gravitatibus in singulas solis particulas, & recedendo a sole decrescit accurate in duplicata ratione distantiarum ad usque orbem saturni, ut ex quiete apheliorum planetarum manifestum est, & ad usque ultima cometarum aphelia, si modo aphelia illa quiescant. Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, & hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur, *hypothesis* vocanda est; & hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatium occultarum, seu mechanicae, in *philosophia experimentalis* locum non habent. In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, & redduntur generales per inductionem. Sic impenetrabilitas, mobilitas, & impetus corporum & leges motuum & gravitatis innotuerunt. Et satis est quod gravitas revera existat, & agat secundum leges a nobis expositas, & ad corporum caelestium & maris nostri motus omnes sufficiat.

Adjicere jam liceret nonnulla de spiritu quodam subtilissimo corpora crassa pervadente, & in iisdem latente; cujus vi & actionibus particulae corporum ad minimas distantias se mutuo attrahunt, & contiguae factae cohaerent; & corpora electrica agunt ad distantias majores, tam repellendo quam attrahendo corpuscula vicina; & lux emittitur, reflectitur, refringitur, inflectitur, & corpora calefacit; & sensatio omnis excitatur, & membra animalium ad voluntatem moventur, vibrationibus scilicet hujus spiritus per solida nervorum capillamenta ab externis sensuum organo ad cerebrum & a cerebro in musculos propagatis. Sed haec paucis exponi non possunt; neque adest sufficiens copia experimentorum, quibus leges actionum hujus spiritus accurate determinari & monstrari debent.

F I N I S.

INDEX

# INDEX RERUM ALPHABETICUS.

N.B. Citationes factae sunt ad normam sequentis exempli. III, 10: 484, 16: 514, 6 designant libri tertii propositionem decimam: pagina 484<sup>a</sup> lineam 16<sup>am</sup>: pagina 514<sup>a</sup> lineam 6<sup>am</sup>.

**A**  
**Æ** Quinostorum praecessio  
causae hujus motus indicantur III, 21.  
quantitas motus ex causis computatur  
III, 39.

**Aëris**  
densitas ad quamlibet altitudinem colligitur ex  
prop. 22. lib. II. quanta sit ad altitudinem  
unius semidiametri terrestri ostenditur 512,  
24.  
elastica vis quali causae tribui possit II, 23.  
gravitas cum aquae gravitate collata 512, 17.  
resistentia quanta sit, per experimenta pendulo-  
rum colligitur 310, 6, per experimenta cor-  
porum cadentium & theoriam accuratius in-  
venitur 355, 13.  
Anguli contactus non sunt omnes ejusdem generis,  
sed alii aliis infinite minores 36, 23.  
Apsidum motus expenditur I, sect. 9. p. 129.  
Areae, quas corpora in gyros acta, radiis ad centrum  
virium ductis, describunt, conferuntur cum tem-  
poribus descriptionum I, 1, 2, 3, 58, 65.  
Attractio corporum universorum demonstratur III,  
7; qualis sit hujus demonstrationis certitudo o-  
stenditur 388, 30.  
Attractionis causam vel modum auctor nusquam  
definit 6, 2: 160, 18: 88, 12: 530, 2.

**C**  
**Caeli**  
resistentia sensibili destituuntur III, 10: 484, 16:  
514, 6; & propterea fluido fere omni corpo-  
reo 356, 19.  
transitum luci praebent sine ulla refractione  
510, 2.  
Calore virga ferrea comperta est augeri longitudine  
420, 25.  
Calor solis quantus sit in diversis a sole distantis  
508, 25.  
quantus apud mercurium 406, 1.  
quantus apud cometam anni 1680 in perihelio  
versantem 508, 27.  
Centrum commune gravitatis corporum plurium,  
ab actionibus corporum inter se, non mutat sta-

tum suum vel motus vel quietis p. 19.  
Centrum commune gravitatis terrae, solis & pla-  
netarum omnium quiescere III, 21; confirmatur  
ex cor. 2. prop. 14. lib. III.  
Centrum commune gravitatis terrae & lunae motu  
annuo percurrit orbem magnum 410, 16.  
quibus intervallis distat a terra & luna 469, 6.  
Centrum virium, quibus corpora revolvuntur in or-  
bitibus retinentur,  
quali arearum indicio invenitur 43, 21.  
qua ratione ex datis revolvuntur velocitatibus  
invenitur I, 5.  
Circuli circumferentia, qua lege vis centripetae ten-  
dentis ad punctum quodcumque datum describi  
potest a corpore revolvente I, 4, 7, 8.  
Cometae  
genus sunt planetarum, non meteororum 484, 20:  
508, 20.  
luna superiores sunt, & in regione planetarum  
versantur p. 478.  
distantia eorum qua ratione per observationes  
colligi potest quamproxime 478, penult.  
plures observati sunt in hemisphaerio solem ver-  
sus, quam in hemisphaerio opposito; & unde  
hoc fiat 484, 2.  
splendent luce solis a se reflexa 484, 1; lux il-  
la quanta esse solet 481, 4.  
cinguntur atmosphaeris ingentibus 482, 6: 484,  
23.  
qui ad solem propius accedunt ut plurimum  
minores esse existimantur 517, 33.  
quo fine non comprehenduntur zodiaco (more  
planetarum) sed in omnes caelorum regiones va-  
rie feruntur 525, 14.  
possunt aliquando in solem incidere & novum  
illi alimentum ignis praebere 525, 21.  
usus eorum suggeritur 515, 19: 526, 25.  
moventur in sectionibus conicis umbilicos in cen-  
tro solis habentibus, & radiis ad solem ductis  
describunt areas temporibus proportionales. Et  
quidem in ellipticis moventur, si in orbem re-  
deunt, haec tamen parabolis erunt maxime fi-  
nitumae III, 40.

Y y y

trajectoria



# INDEX RERUM.

trajectoria parabolica ex datis tribus observatio-  
nibus invenitur III, 41; inventa corrigitur III, 42.  
locus in parabola invenitur ad tempus datum  
485, 29: I, 30.  
velocitas cum velocitate planetarum confertur  
485, 17.

Cometarum caudæ  
avertuntur a sole 511, 10.  
maximæ sunt & fulgentissimæ statim post transi-  
tum per viciniam solis 509, 15.  
insignis earum raritas 513, 8.  
origo & natura earundem 482, 13: 509, 19.  
quo temporis spatio a capite ascendunt 513, 17.

Cometa annorum 1664 & 1665  
hujus motus observatus expenditur, & cum the-  
oria confertur p. 519.

Cometa annorum 1680 & 1681  
hujus motus observatus p. 496. idem computatus  
in orbe parabolico p. 500. & in orbe elliptico  
p. 502.

trajectoria illius & cauda singulis in locis deline-  
antur p. 506.

Cometa anni 1682  
hujus motus collatus cum theoria p. 523.  
comparuisse visus est anno 1607, iterumque redi-  
tus videtur periodo 75 annorum 524, 10 a fine.

Cometa anni 1683  
hujus motus collatus cum theoria p. 522.

Cometa anni 1723  
hujus motus collatus cum theoria p. 523, 524.

Curvæ distinguuntur in geometricæ rationales & ge-  
ometricæ irrationales 107, ult.

Curvatura figurarum qua ratione æstimanda sit  
255, 14: 433, 6.

Cycloidis seu epicycloidis  
rectificatio I, 48, 49: 154, 1.

evoluta I, 50: 154, 5.

Cylindri attractio ex particulis trahentibus compo-  
siti, quarum vires sunt reciproce ut quadrata di-  
stantiarum 216, 17.

## D.

Dei natura p. 528, 529.

Descensus gravium in vacuo quantus sit, indicatur  
413, 21.

Descensus vel ascensus rectilinei spatia descripta,  
tempora descriptionum & velocitates acquisitæ  
confertur, posita cujuscunque generis vi centri-  
petæ I, sect. 7.

Descensus & ascensus corporum in mediis resistan-  
tibus II, 3, 8, 9, 40, 13, 14.

## E.

Ellipsis  
qua lege vis centripetæ tendentis ad centrum figu-  
ræ describitur a corpore revolvente I, 10.

qua lege vis centripetæ tendentis ad umbilicum  
figuræ describitur a corpore revolvente I, 11.

Fluidi definitio p. 282.

Fluidorum densitas & compressio quas leges habent,  
ostenditur II, sect. 5.

Fluidorum per foramen in vase factum effluentium  
determinatur motus II, 36.

Fumi in camino ascensus obiter explicatur 514, 20.

## G.

Graduum in meridiano terrestri mensura exhibetur,  
& quam sit exigua inæqualitas ostenditur ex the-  
oria III, 20.

Gravitas  
diversi est generis a vi magnetica 403, 3.

mutua est inter terram & ejus partes 25, 28.

ejus causa non assignatur 530, 2.

datur in planetas universos 399, 15; & pergen-  
do a superficiebus planetarum sursum decrescit  
in duplicata ratione distantiarum a centro III,  
8, deorsum decrescit in simplici ratione quam-  
proxime III, 9.

datur in corpora omnia, & proportionalis est  
quantitati materiæ in singulis III, 7.

Gravitatem esse vim illam, qua luna retinetur in  
orbe III, 4; computo accuratiori comprobatur  
469, 9.

Gravitatem esse vim illam, qua planetæ primarii &  
satellites Jovis & Saturni retinentur in orbibus  
III, 5.

## H.

Hydrostaticæ principia traduntur II, sect. 5.

Hyperbola  
qua lege vis centrifugæ tendentis a figuræ centro  
describitur a corpore revolvente 54, 8.

qua lege vis centrifugæ tendentis ab umbilico fi-  
guræ describitur a corpore revolvente 58, 1.

qua lege vis centripetæ tendentis ad umbilicum  
figuræ describitur a corpore revolvente I, 12.

Hypotheses cujuscunque generis rejiciuntur ab hac  
philosophia 530, 15.

## I.

Inertiæ vis definitur p. 2.

Jovis  
tempus periodicum 393, 18.

distantia a sole 393, 21.

diameter apparens 391, 5.

diameter vera 405, 22.

attractiva vis quanta sit 405, 4.

pondus corporum in ejus superficie 405, 8.

densitas 405, 24.

quantitas materiæ 405, 14.

perturbatio a Saturno quanta sit 410, 5 & 6.

diameterum proportio computo exhibetur 416,  
6; & cum observationibus confertur ibid. post  
lin. 19.

conversio circum axem quo tempore absolvitur  
416, 2.

cingulorum causa subindicatur 48, 27.

## L.

# INDEX RERUM.

## L.

Locus definitur, & distinguitur in absolutum & re-  
lativum 7, 1.

Loca corporum in sectionibus conicis motorum  
inveniuntur ad tempus assignatum I, sect. 6.

Lucis  
propagatio non est instantanea 225, 29; non fit  
per agitationem mediæ alicujus ætherici 372, 9.

velocitas in diversis mediis diversa I, 95.

reflexio quædam explicatur I, 96.

refractio explicatur I, 94; non fit in puncto so-  
lum incidentiæ 226, 17.

incurvatio prope corporum terminos experimen-  
tis observata 225, 32.

Lunæ  
corporis figura computo colligitur III, 38.

librationes explicantur III, 17.

diameter mediocriis apparens 468, 31.

diameter vera 469, 1.

pondus corporum in ejus superficie 469, 4.

densitas 468, penult.

quantitas materiæ 469, 3.

distantia mediocriis a terra quot continet maxi-  
mas terræ semidiametros 469, 10: quot me-  
diocres 470, 6.

parallaxis maxima in longitudinem paulo major est  
quam parallaxis maxima in latitudinem 387, 8.

vis ad mare movendum quanta sit III, 37; non  
sentiri potest in experimentis pendulorum, vel  
in staticis aut hydrostaticis quibuscunque 468,  
20.

tempus periodicum 469, 17.

tempus revolutionis synodicæ 432, 3.

motus & motuum inæqualitates a causis suis  
derivantur III, 22: p. 459 & seqq.

Luna tardius revolvitur, dilatato orbe, in perihe-  
lio terræ; citius in aphelio, contracto orbe  
III, 22: 460, 2.

tardius revolvitur dilatato orbe in apogæi sy-  
zygiis cum sole; citius in quadraturis apogæi,  
contracto orbe 460, 32.

tardius revolvitur, dilatato orbe, in syzygiis nodi  
cum sole; citius in quadraturis nodi, con-  
tracto orbe 461, 14.

tardius movetur in quadraturis suis cum sole, ci-  
tius in syzygiis; & radio ad terram ducto de-  
scribit aream pro tempore minorem in priore  
casu, majorem in posteriore III, 22. Inæqua-  
litas harum arearum computatur III, 26.

Orbem in super habet magis curvum & longius a  
terra recedit in priore casu, minus curvum  
habet orbem & propius ad terram accedit in  
posteriore III, 22.

Orbis hujus figura & propor-  
tio diameterum ejus computo colligitur III,  
28. Et subinde proponitur methodus invenien-  
di distantiam lunæ a terra ex motu ejus ho-  
rario III, 27.

apogæum tardius movetur in aphelio terræ,

velocius in perihelio III, 22: 460, 15.

apogæum ubi est in solis syzygiis, maxime pro-  
greditur; in quadraturis regreditur III, 22:  
461, 29.

eccentricitas maxima est in apogæi syzygiis cum  
sole, minima in quadraturis III, 22: 461, 31.

nodis tardius moventur in aphelio terræ, velo-  
cius in perihelio III, 22: 460, 15.

nodi quiescunt in syzygiis suis cum sole, & velo-  
cissime regrediuntur in quadraturis III, 22.

Nodorum motus & inæqualitates motuum com-  
putantur ex theoria gravitatis III, 30, 31, 32, 33.

Inclinatio orbis ad eclipticam maxima est in sy-  
zygiis nodorum cum sole, minima in quadra-  
turis I, 66, cor. 10. Inclinacionis variationes  
computantur ex theoria gravitatis III, 34, 35.

Lunarium motuum æquationes ad usus astron-  
omicos p. 459, & seqq.

Motus mediæ lunæ  
æquatio annua 459, ult.

æquatio semestris prima 460, 32.

æquatio semestris secunda 461, 14.

æquatio centri prima 462, 15: p. 109, & seqq.

æquatio centri secunda 463, 12.

Lunæ variatio prima III, 29.

Motus mediæ apogæi  
æquatio annua 460, 15.

æquatio semestris 461, 29.

Eccentricitatis  
æquatio semestris 461, 29.

Motus mediæ nodorum  
æquatio annua 460, 15.

æquatio semestris III, 33.

Inclinacionis orbis ad eclipticam  
æquatio semestris 459, 22.

Lunarium motuum theoria, qua methodo stabili-  
enda sit per observationes 464, 1.

## M.

Magnetica vis 25, 23: 293, antepen. 403, 3: 471, 20.

Maris æstus a causis suis derivatur III, 24, 36, 37.

Martis  
tempus periodicum 393, 18.

distantia a sole 393, 21.

aphelii motus 411, 8.

Materiæ  
quantitas definitur p. 1.

vis insita seu vis inertiæ definitur p. 2.

vis impressa definitur p. 2.

extensio, durities, impenetrabilitas, mobilitas, vis  
inertiæ, gravitas, qua ratione innotescunt 387,  
penult, 530, 17.

Materia subtilis Cartesianorum ad examen quoddam  
revocatur 316, 4.

Mecanicæ, quæ dicuntur, potentiæ explicantur &  
demonstrantur p. 15 & 16: p. 26.

Mercurii  
tempus periodicum 393, 18.

distantia a sole 393, 21.

## aphelii



# INDEX RERUM.

Aphelii motus 411, 8.  
 Methodus 411, 8.  
 rationum primarum & ultimarum I, sect. 1.  
 transmutandi figuras in alias, quæ sunt ejusdem  
 ordinis analytici I, lem. 22. pag. 87.  
 fluxionum II, lem. 2. p. 243.  
 differentialis III, lem. 5 & 6. p. 486 & 487.  
 inveniendi curvarum omnium quadraturas prox-  
 ime veras 487, 16.  
 ferierum convergentium adhibetur ad solutionem  
 problematum difficiliorum p. 137, 139, 221,  
 255, 449.  
 Motus quantitas definitur p. 1.  
 Motus absolutus & relativus p. 7, 8, 9, 10. ab invi-  
 cem secerni possunt, exemplo demonstratur p. 11.  
 Motus leges p. 13, & seqq.  
 Motuum compositio & resolutio p. 15.  
 Motus corporum congruentium post reflexionem,  
 quali experimento recte colligi possunt, ostenditur  
 22, 22.  
 Motus corporum  
 in conicis sectionibus eccentricis I, sect. 3.  
 in orbibus mobilibus I, sect. 9.  
 in superficiebus datis & funependulorum motus  
 reciprocos I, sect. 10.  
 Motus corporum viribus centripetis se mutuo pe-  
 tentium I, sect. 11.  
 Motus corporum minimorum, quæ viribus centri-  
 petis ad singulas magni alicujus corporis partes  
 tendentibus agitantur I, sect. 14.  
 Motus corporum quibus resistitur  
 in ratione velocitatis II, sect. 1.  
 in duplicata ratione velocitatis II, sect. 2.  
 partim in ratione velocitatis, partim in ejusdem  
 ratione duplicata II, sect. 3.  
 Motus  
 corporum sola vi insita progredientium in mediis  
 resistentibus II, 1, 2, 5, 6, 7, 11, 12: 326, 16.  
 corporum recta ascendendum vel descendendum  
 in mediis resistentibus, agente vi gravitatis uni-  
 formi II, 3, 8, 9, 40, 13, 14.  
 corporum projectorum in mediis resistentibus, a-  
 gente vi gravitatis uniformi II, 4, 10.  
 corporum circumgyrantium in mediis resistentibus  
 II, sect. 4.  
 corporum funependulorum in mediis resistenti-  
 bus II, sect. 6.  
 Motus & resistentia fluidorum II, sect. 7.  
 Motus per fluida propagatus II, sect. 8.  
 Motus circularis seu vorticosus fluidorum II, sect. 9.  
 Mundus originem non habet ex causis mechanicis  
 p. 527, 25.  
 N.  
 Navium constructioni propositio non inutilis 324, 10.  
 O.  
 Opticarum ovalium inventio, quam *Cartesius* ceta-  
 verat I, 97. *Cartesiani* problematis generalior so-  
 lutio I, 98.

Orbitarum inventio  
 quas corpora describunt, de loco dato data cum  
 velocitate, secundum datum rectam egressa,  
 ubi vis centripeta est reciproce ut quadratum di-  
 stantiæ & vis illius quantitas absoluta cognoscitur  
 I, 17.  
 quas corpora describunt, ubi vires centripetæ sunt  
 reciproce ut cubi distantiarum 51, ult. 127, 22:  
 135, 14.  
 quas corpora viribus quibuscunque centripetis agi-  
 tata describunt I, sect. 8.  
 P.  
 Parabola, qua lege vis centripetæ tendentis ad um-  
 bilicum figuræ describitur a corpore revolvente I,  
 13.  
 Pendulorum affectiones explicantur I, 50, 51, 52,  
 53: II, sect. 6.  
 Pendulorum isochronorum longitudines diversæ in  
 diversis locorum latitudinibus inter se conferun-  
 tur, tum per observationes, tum per theoriam  
 gravitatis III, 20.  
 Philosophandi regulæ p. 387.  
 Planetæ  
 non deferuntur a vorticibus corporeis 382, 31:  
 384, 22: 526, 32.  
 Primarii  
 solem cingunt 392, 21.  
 moventur in ellipsis umbilicis habentibus  
 in centro solis III, 13.  
 radiis ad solem ductis describunt areas tempo-  
 ribus proportionales 394, 2: III, 13.  
 temporibus periodicis revolvuntur, quæ sunt in  
 sesquialtera ratione distantiarum a sole 392,  
 2: III, 13 & I, 15.  
 retinentur in orbibus suis a vi gravitatis, quæ  
 respicit solem, & est reciproce ut quadratum  
 distantie ab ipsius centro III, 2, 5.  
 Secundarii  
 moventur in ellipsis umbilicis habentibus  
 in centro primariorum III, 22:  
 radiis ad primarios suos ductis describunt areas  
 temporibus proportionales 390, 3: 391, 24:  
 394, 14: III, 22.  
 temporibus periodicis revolvuntur, quæ sunt in  
 sesquialtera ratione distantiarum a prima-  
 riis suis 390, 3: 391, 24: III, 22 & I, 15.  
 retinentur in orbibus suis a vi gravitatis, quæ  
 respicit primarios, & est reciproce ut quadra-  
 tum distantie ab eorum centrīs III, 1, 3, 4, 5.  
 Planetarum  
 tempora periodica 393, 18.  
 distantie a sole 393, 21.  
 orbium aphelia & nodi prope quiescunt III, 14.  
 orbes determinantur III, 15, 16.  
 loca in orbibus inveniuntur I, 31.  
 densitas calori, quem a sole recipiunt, accommo-  
 datur 405, 33.  
 conversiones diurnæ sunt æquales III, 17.

axes

# INDEX RERUM.

axes sunt minores diametris, quæ ad eodem axes  
 normaliter ducuntur III, 18.  
 Pondera corporum  
 in terram vel planetam quemvis, pa-  
 ribus distantis ab eorum centrīs, sunt ut quan-  
 titates materiæ in corporibus III, 6.  
 non pendent ab eorum formis & texturis 402, 8.  
 in diversis terræ regionibus inveniuntur & inter  
 se comparantur III, 20.  
 Problematis  
*Kepleriani* solutio per trochoidem & per ap-  
 proximationes I, 31.  
*Veterum* de quatuor lineis, a *Pappo* memorati, a  
*Cartesio* per calculum algebraicum tentati, com-  
 positio geometrica 77, antepenult.  
 Projectilia, seposita mediis resistentibus, moveri in pa-  
 rabola colligitur 22, 3: 54, 5: 221, 23: 256, 23.  
 Projectilium motus in mediis resistentibus II, 4, 10.  
 Pulsuum æris, quibus soni propagantur, determi-  
 nantur intervalla seu latitudines II, 50: 373, 32.  
 Hæc intervalla in aperturam fistularum sonis æ-  
 quari duplis longitudinibus fistularum verosimile  
 est 374, 3.  
 Q.  
 Quadratura generalis ovalium dari non potest per  
 finitos terminos I, lem. 28. p. 106.  
 Qualitates corporum qua ratione innotescunt & ad-  
 mittuntur 387, 16.  
 Quies vera & relativa p. 7, 8, 9, 10.  
 R.  
 Resistentiæ quantitas  
 in mediis non continuis II, 35.  
 in mediis continuis II, 38.  
 in mediis cujuscunque generis 327, 7.  
 Resistentiarum theoria confirmatur  
 per experimenta pendulorum II, 30, 31. sch.  
 gen. p. 307.  
 per experimenta corporum cadentium II, 40.  
 sch. p. 346.  
 Resistentia mediorum  
 est ut eorundem densitas, cæteris paribus 314, 19:  
 315, 26: II, 33, 35, 38: 355, 23.  
 est in duplicata ratione velocitatis corporum qui-  
 bus resistitur, cæteris paribus 239, 3: 308, 9:  
 II, 33, 35, 38: 351, 8.  
 est in duplicata ratione diametri corporum sphæ-  
 ricorum quibus resistitur cæteris paribus 311, 22:  
 312 antepenult. II, 33, 35, 38: sch. p. 346.  
 Resistentia fluidorum triplex est; oriturque vel  
 ab inertia materiæ fluidæ, vel a tenacitate  
 partium ejus, vel a frictione 274, 3. Resisten-  
 tia quæ sentitur in fluidis fere tota est primi ge-  
 neris 354, 32, & minui non potest per subtilitatem  
 partium fluidi, manente densitate 356, 8.  
 Resistentiæ globi ad resistentiam cylindri proportio,  
 in mediis non continuis II, 34. In mediis com-  
 pressis p. 341. lemm. 7.

Resistentia globi in mediis non continuis II, 35. In  
 mediis compressis II, 38. Sed quomodo per ex-  
 perimenta inveniendæ sit, prop. 40.  
 Resistentia, quam patitur a fluido frustum conic-  
 um, qua ratione fiat minima 323, antepenult.  
 Resistentiæ minimæ solidum 324, penult.  
 Satellitis  
 Jovialis extimi elongatio maxima heliocentrica a  
 centro Jovis 404, ult.  
 Hugianæ elongatio maxima heliocentrica a cen-  
 tro Saturni 405, 1. q. 1.  
 Satellitum  
 Jovialium tempora periodica & distantie a centro  
 Jovis 390, 12.  
 Saturniorum tempora periodica & distantie a cen-  
 tro Saturni 391, ult. 392, 1.  
 Jovialium & Saturniorum inæquales motus a mo-  
 ribus lunæ derivari posse ostenditur III, 23.  
 Saturni  
 tempus periodicum 393, 18.  
 distantia a Sole 393, 21.  
 diameter apparens 392, 19.  
 diameter vera 405, 22.  
 vis attractiva quanta sit 405, 4.  
 pondus corporum in ejus superficie 405, 8.  
 densitas 405, 24.  
 quantitas materiæ 405, 14.  
 perturbatio a Jove quanta sit 409, 25.  
 diameter apparens annuli, quo cingitur 392, 13.  
 Sectiones conicæ, qua lege vis centripetæ tenden-  
 tis ad punctum quodcunque datum, describuntur  
 a corporibus revolventibus 65, 20.  
 Sectionum conicarum descriptio geometrica,  
 ubi dantur umbilici I, sect. 4.  
 ubi non dantur umbilici I, sect. 5. ubi dantur  
 centra vel asymptoti 95, 18.  
 Sesquialtera ratio definitur 36, 6.  
 Sol.  
 circum planetarum omnium commune gravitatis  
 centrum movetur III, 12.  
 tempus ejus periodicum circa axem suum 411,  
 5 a fine.  
 diameter ejus mediocris apparens 468, 30 & 31.  
 diameter vera 405, 22.  
 parallaxis ejus horizontalis 405, 15.  
 parallaxin habet mensuram 410, 16.  
 vis ejus attractiva quanta sit 405, 4.  
 pondus corporum in ejus superficie 405, 8.  
 densitas ejus 405, 24.  
 quantitas materiæ 405, 14.  
 vis ejus ad perturbandos motus lunæ 396, 15:  
 III, 25.  
 vis ad mare movendum III, 36.  
 Sonorum  
 natura explicatur II, 43, 47, 48, 49, 50.  
 propagatio divergit a recto tramite 361, 9: sit  
 per agitationem æris 372, 10.  
 velocitas



# INDEX RERUM.

velocitas computo colligitur 372, 17; paululum  
major esse debet æstivo quam hyberno tem-  
pore per theoriam 373, 26.  
cessatio fit statim, ubi cessat motus corporis so-  
nori 374, 6.  
augmentatio per tubos stenterophonos 374, 9.  
Spatium  
absolutum & relativum p. 6, 7, 8.  
non est æqualiter plenum 402, 27.  
Sphæroidis attractio, cujus particularum vires sunt  
reciproce ut quadrata distantiarum 217, 4.  
Spiralis, quæ secat radios suos omnes in angulo da-  
to, qua lege vis centripetæ tendentis ad centrum  
spiralis describi potest a corpore revolvente,  
ostenditur I, 9: 11, 15, 16.  
Spiritus quendam corpora pervadentem & in cor-  
poribus latentem, ad plurima naturæ phænomena  
solvenda, requiri suggeritur 530, 23.  
Stellarum fixarum  
quies demonstratur 410, 27.  
radiatio & scintillatio quibus causis referendæ sint  
510, 8.  
Stellæ novæ unde oriri possint 525, 28.  
Substantiæ rerum omnium occultæ sunt 530, 21.  
T.  
Tempus absolutum & relativum p. 6, 7.  
Temporis æquatio astronomica per horologium  
oscillatorium & eclipses satellitum Jovis compro-  
batur 8, 8.  
Tempora periodica corporum revolvuntur in el-  
lipsibus, ubi vires centripetæ ad umbilicum ten-  
dunt I, 15.  
Terræ  
dimensio per Norwoodum 412, ult. per Picartum  
413, 5; per Cassinum 413, 7.  
figura invenitur, & proportio diametrorum, &  
mensura graduum in meridiano III, 19, 20.  
altitudinis ad æquatorem supra altitudinem ad po-  
los quantus sit excessus 415, 20: 421, antepen-  
ult. &c.  
semidiameter maxima, & minima 415, 25; me-  
diocris 415, 20. &c.  
globus densior est quam si totus ex aqua consta-  
ret 406, 20.  
axis nutatio III, 21.  
motus annuus in orbe magno demonstratur III,  
12, 13: 512, 28.  
eccentricitas quanta sit 460, 10.  
aphelii motus quantus sit 411, 10.  
V.  
Vacuum datur, vel spatia omnia (si dicantur esse  
plena) non sunt equaliter plena 356, 19: 402,  
penult.  
Velocitas maxima quam globus in medio resistente  
cadendo potest acquirere II, 38. cor 2.

Velocitates corporum in sectionibus conicis moto-  
rum, ubi vires centripetæ ad umbilicum tendunt  
I, 16.  
Veneris  
tempus periodicum 393, 18.  
distantia a sole 393, 21.  
aphelii motus 411, 11.  
Virium compositio & resolutio p. 15.  
Vires attractivæ corporum  
sphæricorum ex particulis quacunque lege trahen-  
tibus compositorum expendantur I, sect. 12.  
non sphæricorum ex particulis quacunque lege  
trahentibus compositorum expendantur I,  
sect. 13.  
Vis centrifuga corporum in æquatore terræ quan-  
ta sit 413, ult.  
Vis centripeta definitur p. 3.  
quantitas ejus absoluta definitur p. 4.  
quantitas acceleratrix definitur p. 4.  
quantitas motrix definitur p. 5.  
proportio ejus ad vim quamlibet notam, qua ra-  
tione colligenda sit, ostenditur 45, 10.  
Virium centripetarum inventio, ubi corpus in spatio  
non resistente, circa centrum immobile, in orbe  
quocunque revolvitur I, 6: 1, sect. 2 & 3.  
Viribus centripetis datis ad quodcunque punctum  
tendentibus, quibus figura quævis a corpore re-  
volvente describi potest; dantur vires centripetæ  
ad aliud quodvis punctum tendentes, quibus eadem  
figura eodem tempore periodico describi potest  
50, 3.  
Viribus centripetis datis quibus figura quævis descri-  
bitur a corpore revolvente; dantur vires quibus  
figura nova describi potest, si ordinatæ augean-  
tur vel minuantur in ratione quacunque data, vel  
angulus ordinationis utcunque mutetur, manente  
tempore periodico 54, 10.  
Viribus centripetis in duplicata ratione distantiarum,  
decrecentibus, quænam figuræ describi possunt,  
ostenditur 59, 23: 163, 10.  
Vircentripeta,  
quæ sit reciproce ut cubus ordinatim applicatæ  
tendentis ad centrum virium maxime longin-  
quum, corpus movebitur in data quavis con-  
fectione 51, 6.  
quæ sit ut cubus ordinatim applicatæ tendentis ad  
centrum virium maxime longinquum, corpus  
movebitur in hyperbola 221, antepenult.  
Umbra terrestris in eclipsibus lunæ augenda est,  
propter atmosphæræ refractionem 463, 5 a fine.  
Undarum in aquæ stagnantis superficie propagata-  
rum velocitas invenitur II, 46.  
Vorticum naturæ & constitutio ad examen revoca-  
tur II, sect. 9: 481, 21: 526, 32.  
U. Hujus voculæ significatio mathematica defini-  
tur 34, 19.

F I N I S.



## CATALOGUS Librorum prostantium apud GUIL. & JOH. INNYS.

- OPTICKS, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of  
Light. The third Edition corrected. By Sir Isaac Newton, Kt. 8vo. 1721.  
2. Optice, sive de Reflectionibus, Refractionibus, Inflectionibus & Coloribus Lucis. Libri  
tres. Authore Isaaco Newton, Equite Aurato. Latine reddidit Samuel Clarke, S.T.P. Editio  
secunda, auctor. 8vo. 1719.  
3. Analysis per Quantitatum Series, Fluxiones, ac Differentias cum Enumeratione Linearum  
tertii Ordinis. 4o. 1711.  
4. Arithmetica Universalis, sive de Compositione & Resolutione Arithmetica Liber. Edit.  
secunda. 8vo. 1722.  
5. The same in English by Mr. Raphson. 8vo.  
6. The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle, Esq; abridg'd, methodiz'd,  
and dispos'd under the general Heads of Physicks, Statics, Pneumatics, Natural History, Chy-  
mistry and Medicine. The whole illustrated with Notes, containing the Improvements made  
in the several Parts of natural and experimental Knowledge since his Time. In three Volumes.  
By Peter Shaw, M.D. 4o.  
7. Geometria Organica, sive Descriptio Linearum curvarum universalis. Authore Co-  
lino Mac-Laurin Mathefeos in Collegio novo Abredonensi Professore, & Reg. Soc. Socio. 4o.  
1720.  
8. Philosophical Transactions, giving some Account of the present Undertakings, Studies  
and Labours of the Ingenious in many considerable Parts of the World, from 1665 to 1725.  
In 32 Volumes. Continued and published by Dr. James Jurin, Secretary to the Royal Society.  
N. B. There are 389 Numbers, most of which may be had separate.  
9. The same abridged by Mr. Lowthorp, and Mr. Mot. In 5 Vol. 4o.  
10. Epistola ad amicum de Cotesii Inventis Curvarum ratione, quæ cum Circulo & Hyper-  
bola comparationem admittunt, cui additur appendix. 4o. 1722.  
11. An Analytick Treatise of Conic Sections, and their Use, for resolving of Equations  
in determinate and indeterminate Problems, being the Posthumous Work of the Marquis de  
l'Hospital, Honorary Fellow of the Academy Royal of Sciences. 4o.  
12. Historia Cœlestis Britannica, tribus Voluminibus contenta, observante Johanne Flamste-  
dio, A.R. in Observatorio Regio Grenovicensi, 1725.  
13. Mathematical Elements of Natural Philosophy, confirm'd by Experiments, or an Intro-  
duction to Sir Isaac Newton's Philosophy. Written in Latin by William James s' Gravesand,  
Doctor of Laws and Philosophy, Professor of Mathematicks and Astronomy at Leyden, and  
F.R.S. of London. Translated into English by J. T. Desaguliers, L.L.D. F.R.S. and Chap-  
lain to his Grace the Duke of Chandos. In 2 Vol. 8o. 1726.  
14. An Essay on Perspective, written by William James s' Gravesand, Doctor of Laws, &c.  
8vo. 1724.  
15. Physico-Theology, or a Demonstration of the Being and Attributes of God, from his  
Works of the Creation, with large Notes and many curious Observations. By William Derham,  
Rector of Upminster in Essex, Canon of Windsor, F.R.S. The Sixth Edition. 8vo. 1723.  
16. Astro-Theology, or a Demonstration of the Being and Attributes of God, from a Survey  
of the Heavens. Illustrated with Copper Plates. The Fifth Edition. By the same Author.  
8vo. 1726.  
17. Methodus Incrementorum directa & inversa. Authore Brook Taylor, L.L.D. & Regiæ  
Societatis Secretario. 4o. 1717.

18. The



*Catalogus Librorum, &c.*

18. The Religious Philosopher, or the right Use of contemplating the Works of the Creator I. in the wonderful Structure of animal Bodies, and in particular, Man. II. In the no less wonderful and wise Formation of the Elements, and their various Effects upon animal and vegetable Bodies. And III. in the most amazing Structure of the Heavens, with all their Furniture. *Designed for the Conviction of Atheists and Infidels.* In Two Volumes. 40. Throughout which all the late Discoveries in Anatomy, Philosophy, and Astronomy, together with the various Experiments made use of to illustrate the same, are most copiously handled by that Learned Mathematician Dr. *Nieuwentyt.* Translated from the *Low Dutch.* To which is prefix'd a Letter to the Translator, by the Rev. *J. T. Desaguliers,* L. L. D. F. R. S. The third Edition, adorned with Cuts. 1724.
19. Philosophical Experiments and Observations of the late eminent Dr. *Robert Hooke,* F. R. S. and Geom. Prof. Gresh. and other eminent Virtuoso's in his Time. With Copper Plates. Published by *William Derham,* F. R. S. 8vo. 1726.
20. The Posthumous Works of Dr. *Robert Hooke;* in which 1. the present Deficiency in Natural Philosophy is discours'd of, with the Methods of rendering it more easy and beneficial. 2. Of the Nature, Motions, and Effects of Light, particularly that of the Sun and Comets. 3. An Hypothetical Explication of Memory; how the Organs made use of by the Mind in its Operation may be mechanically understood. 4. An Hypothesis and Explication of the Cause of Gravity or Gravitation, Magnetism, &c. 5. Discourses of Earthquakes, their Causes and Effects, and Histories of several: To which are annexed Physical Explications of several of the Fables in *Ovid's Metamorphosis,* very different from other Mythologick Interpreters. 6. Lectures for improving Navigation and Astronomy, with the Descriptions of several new and useful Instruments, illustrated with Sculptures. To these Discourses is prefix'd the Author's Life. By *Richard Waller,* R. S. Secr. Folio.
21. A Treatise of Architecture, with Remarks and Observations by that excellent Master thereof *Sebastian le Clerc,* Knight of the Empire, Designer and Engraver to the Cabinet of the late *French King,* and Member of the Academy of Arts and Sciences; necessary for young People who would apply to that noble Art. Engraven in 181 Copper Plates by *John Sturt.* Translated by Mr. *Chambers.* In 2 Vol. 8vo. 1725.
22. Philosophical Letters between the late Learned Mr. *Ray,* and several of his ingenious Correspondents, Natives and Foreigners. To which are added those of *Francis Willoughby, Esq;* the whole consisting of many curious Discoveries and Improvements in the History of Quadrupeds, Birds, Fishes, Insects, Plants, Fossils, Fountains, &c. Published by *W. Derham,* M. A. and F. R. S. 1718.
23. The Wisdom of God manifested in the Works of the Creation. In two Parts. To which are added Answers to some Objections. By *John Ray,* late Fellow of the Royal Society. The Eighth Edition. 8vo. 1722.
24. Three Physico-Theological Discourses, concerning I. The primitive Chaos, and Creation of the World. II. The general Deluge, its Causes and Effects. III. The Dissolution of the World, and future Conflagration; wherein are largely discussed the Production and Use of Mountains; the Original of Fountains, of formed Stones, and Sea Fishes, Bones and Shells found in the Earth; the Effects of particular Floods and Inundations of the Sea; the Eruptions of *Vulcano's;* the Nature and Causes of Earthquakes; also an Historical Account of the two later remarkable ones in *Jamaica* and *England:* With practical Inferences, illustrated with Copper Plates. By *John Ray,* late Fellow of the Royal Society. The Fourth Edition. 8vo. 1721.
25. New Memoirs of Literature, containing an Account of new Books printed both at home and abroad; with Dissertations upon several Subjects, Miscellaneous Observations, &c. For February, 1726. being the Fourteenth Number. To be continued Monthly. 8vo.
26. A Treatise of Five Orders of Columns in Architecture, viz. *Tuscan, Doric, Ionic, Corinthian* and *Composite,* wherein the Proportions and Characters of the Members of their several Pedestals, Columns and Entablatures, are distinctly consider'd, with Respect to the Practice of the Antients and Moderns. Also a most natural, easy and practical Method laid down for determining the most minute Part in all the Orders without a Fraction. To which is annexed a Discourse concerning Pilasters, and of several Abuses introduced into Architecture. Engraven on Six Folio Plates of the several Orders, adorned with twenty four Borders, as many initial Letters, and a like Number of Tail-Pieces, by *John Sturt.* Written in French by *Claude Perrault,* of the Royal Academy of *Paris,* Author of the celebrated *Comment on Vitruvius.* Made English by *John James of Greenwich.* 1722.
27. Rules and Examples of Perspective, proper for Painters and Architects, with 150 Plates. By *Andrea Pozzo.* Englished by *John James of Greenwich.* Fol.



